

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**VLIV VLHKOSTI NA ENERGETICKÉ PŘEMĚNY PŘI  
CYKlickÉ DEFORMACI TEXTILÍ**

**Dampness effect on the energy change in the cyclic  
deformation of textiles**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ  
KATEDRA HODNOCENÍ TEXTILÍ

Studijní program: N3108 Průmyslový management  
Obor: Produktový management – Textil

**VLIV VLHKOSTI NA ENERGETICKÉ PŘEMĚNY PŘI CYKlickÉ  
DEFORMACI TEXTILIE**

**Dampness effect on the energy change in the cyclic  
deformation of textiles**

Igor Mazur

**Vedoucí diplomové práce:**

Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.

**Konzultant:**

Ing. Iva Mertová

**Rozsah práce:**

Počet stran:..... 57  
Počet grafu: ..... 17  
Počet obrázků:..... 11  
Počet tabulek:..... 10  
Počet příloh: ..... 5  
+CD

V Liberci dne 9. května. 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Igor Mazur**  
Osobní číslo: **T10000119**  
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**  
Studijní obor: **Produktový management - Textil**  
Název tématu: **Vliv vlhkosti na energetické přeměny při cyklické deformaci  
textilií**  
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vzhledem k vlivu vlhkosti na vlastnosti textilií posuďte vliv vlhkosti na energetické přeměny textilií při jejich cyklické deformaci.
3. Experimentálně ověřte tento vliv porovnáním vlastností, např. relativní hystereze, suchých a vlhkých textilií.
4. Zkoušejte podobným způsobem např. příze a z nich vyrobené plošné textilie při přibližně pěti deformačních cyklech.
5. Zhodnoťte výsledky experimentů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

**50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**[1] Kovář, Radko: Struktura a vlastnosti plošných textilií. TU v Liberci 2003.**

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Radko Kovář, CSc.**

Katedra textilních technologií

Konzultant diplomové práce:

**Ing. Iva Mertová**

Katedra textilních technologií

Datum zadání diplomové práce:

**31. října 2011**

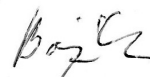
Termín odevzdání diplomové práce:

**9. května 2012**



prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011



## **P r o h l á š e n í**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se úplně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 10. května 2012

Podpis

## **P o d ě k o v á n í**

Děkuji Prof. Ing. Radko Kovářovi, CSc., za odborné vedení a všestrannou pomoc, kterou mi poskytl při vypracovávání diplomové práce. A dále je mou povinností poděkovat Prof. Ing. Petru Ursínymu DrSc., za cenné rady, připomínky a diskuze, za poskytnutí informačního a technického zázemí a taky za pomoc při vyhodnocení experimentu.

Také bych chtěl poděkovat svým nejbližším za podporu, která napomohla vzniku této práce.

Igor Mazur

## **Anotace**

Středem zájmu této diplomové práce je především teoretický a experimentální rozbor vlivu vlhkosti na energetické přeměny při cyklické tahové deformaci textilií. V její první teoretické části se zaměřím na popis struktury příze a tkaniny, vnitřního tření a vliv tohoto tření na deformační vlastnosti, na již zmíněnou pevnost, tažnost textilie a hysterezi.

Výsledkem experimentální části diplomové práce je porovnání naměřených hodnot hystereze pro příze a tkaniny a analýza vlivu vlhkosti na energetické změny při cyklické deformaci.

Klíčová slova: energetické ztráty, hystereze, pevnost, tažnost, vlhkost.

## **Annotation**

The main goal of this thesis is theoretical and experimental analysis of dampness influence on the energy transformations during cyclic tensile deformation of fabrics.

First theoretical part will focus on describing the structure of yarn and fabric, internal friction and the friction influence on the deformation properties, as strength, fabric ductility and hysteresis.

As a result, the experimental part of the thesis describes the comparison of the measured values of hysteresis for yarn and fabrics. The dampness influence on the energy changes during cyclic tensile deformation of fabrics was investigated.

Keywords: energy losses, hysteresis, strength, tensibility, dampness.

### Přehled použitých zkratk a symbolů

Symbol	Definice, jednotka	Popis
$P$	N	Pevnost
$\sigma$	Pa	Napětí
$\Delta l$	mm	Protažení do přetrhu
$F$	N	Absolutní pevnost v tahu
$\varepsilon$	%	Tažnost
$l_t$	km	Tržná délka
$R$	N/tex	Poměrná pevnost v tahu
$T$	tex	Jemnost nitě
$\Delta L$	mm	Změna délky vzorku
$L_0$	mm	Počáteční délka vzorku
$L$	mm	Délka vzorku po deformaci
$S$	m <sup>2</sup>	Plocha
$E$	-	Relativní deformace
$CV$	%	Variační koeficient
$T$	s	Perioda vzorkování
$\gamma$	ktex	Hodnota délkové hmotnosti
$H$	%	Hystereze
$D_o, D_u$	Nit/cm	Dostava osnovy, dostava utku
$W$	J	Energie, práce
$\bar{x}$	-	Aritmetický průměr
obr.		obrázek
tab.		tabulka
tj.		to je
tzn.		to znamená
např.		například

## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REŠERŠNÍ A TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
2.1. PŘÍZE .....	11
2.1.1. <i>Struktura a vlastnosti příze</i> .....	12
2.1.2. <i>Mechanické vlastnosti přízí</i> .....	12
2.1.3. <i>Faktory ovlivňující deformační vlastnosti přízí</i> .....	15
2.2. TKANINA .....	18
2.2.1. <i>Deformační vlastnosti tkaniny</i> .....	19
2.2.2. <i>Způsoby deformace textilií</i> .....	22
2.2.3. <i>Anizotropie plošných textilií</i> .....	24
2.2.4. <i>Pevnost a tažnost tkaniny</i> .....	25
2.3. ENERGETICKÉ ZMĚNY PŘI CYKLICKÉ DEFORMACI TEXTILIÍ.....	29
2.4. VLIV VLHKOSTI NA VLASTNOSTI TEXTILIÍ .....	30
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
3.1. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY EXPERIMENTU .....	33
3.2. POPIS UNIVERZÁLNÍHO PŘÍSTROJE INSTRON 4411 .....	34
3.3. MĚŘENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI PŘÍZE.....	34
3.4. ZJIŠTĚNÍ HYSTEREZE PŘÍZE.....	40
3.5. PEVNOST A TAŽNOST TKANINY .....	44
3.6. VÝPOČET HYSTEREZE TKANINY .....	47
3.6.1. <i>Klimatizované vzorky</i> .....	47
3.6.2. <i>Suché vzorky</i> .....	50
3.6.3. <i>Mokrý vzorky</i> .....	52
3.7. ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU .....	55
<b>ZÁVĚR: .....</b>	<b>59</b>
<b>SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY .....</b>	<b>60</b>

## Úvod

Textilie je velmi komplikovaný systém s určitou vnitřní strukturou, od níž můžeme odvodit její chování a vlastnosti. Je nositelkou vlastností, bez jejichž chápání nebudeme schopni pochopit resp. předpovídat ani chování zkoumaného objektu.

Tato diplomová práce se zabývá především hysterezí, tažností a pevností textilií. V její první části se zaměřím na popis struktury příze, a tkaniny z ní vyráběné, vnitřního tření a vliv tohoto tření na deformační vlastnosti, tj. na pevnost a tažnost textilie. Deformace tkanin souvisí s posouváním se příze po přízi a s její deformací v malých oblastech. Všechny formy deformace přízi jsou spojeny se změnami pozic vláken v kontaktních bodech - ty také nejsou plně elastické. Tyto procesy jsou spojeny s vysokým podílem energetických ztrát. Důvodem je vnitřní tření. Není výjimkou, když se v deformačním cyklu ztratí víc než polovina vložené energie. Vnitřní tření je i příčinou toho, že se hystereze vyskytuje i u velmi krátkého deformačního cyklu, tj. že Hookův zákon často neplatí ani pro samotný začátek deformační křivky.

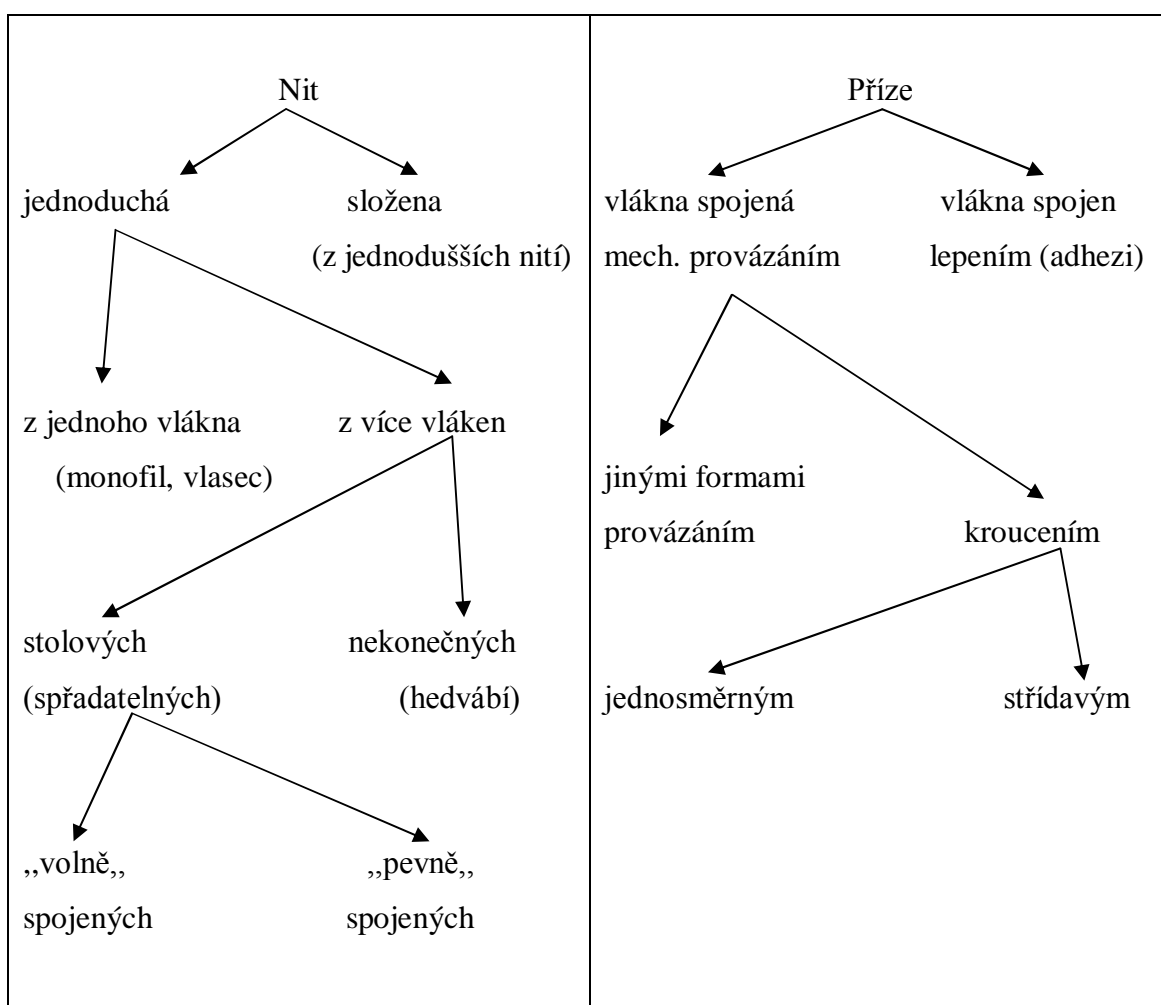
V experimentální části se zaměřím na příze a tkaninu v atlasové vazbě. Vzorky tkaniny jsou sledovány v třech směrech. Hysterezi příze a tkaniny jsem měřil při různých relativních vlhkostech. Průměrné hodnoty hystereze jsem statisticky zpracoval, vyhodnotil a dále porovnával s teoretickými předpoklady, uvedenými v této práci.

## 2. Rešeršní a teoretická část

V této teoretické části jsou nejprve uvedeny základní pojmy příze a tkaniny, dále jejich struktura a mechanické vlastnosti.

### 2.1. Příze

Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken. Obecnějším pojmem je nit, souhrnný pojem pro přízi, hedvábí, kabílek atd.



Obr. 1 Typy nití a přízi

### 2.1.1. Struktura a vlastnosti příze

Struktura příze popisuje vzhled příze, znázorňuje, jakým způsobem jsou v přízi vlákna urovnána a ovlivňuje určité typické charakteristiky příze (pevnost, tažnost, počet nopků a další), má velký význam pro další zpracování. Dále si musíme uvědomit, že textilie jako takové jsou spojeny s velkým množstvím charakteristik materiálu, které jsou pouze hodnotami „smluvními“. Některé parametry se nedají jednoznačně definovat (např. průměr příze).

Základní stavební jednotkou příze (ale i dalších textilních výrobků) je vlákno. Vláknem je útvar, jehož délka mnohonásobně převyšuje jeho průměr. Z hlediska délky jsou rozlišována vlákna nekonečná a staplová. Vláknem dále rozlišujeme na přírodní, chemická, syntetická, ale to, co mají tato vlákna společné, jsou základní charakteristiky, kterými se dají popsat. Tyto charakteristiky (parametry) jsou náhodné a jsou dány podmínkami růstu u přírodních vláken a způsobem výroby u syntetických a chemických vláken [1].

### 2.1.2. Mechanické vlastnosti přízí

Mechanické vlastnosti přízí (nití) jsou definovány jako jejich odezva na vnější působení sil a svědčí o kvalitě vláken. Mechanické vlastnosti jsou popisovány tzv. ultimativními charakteristikami

- pevnost ( síla do přetrhu )  $P$  [N]
- napětí do přetrhu  $\sigma$  [Pa]
- protažení do přetrhu  $\Delta l$  [mm]
- tažnost (deformace do přetrhu)  $\varepsilon$  [%]
- relativní pevnost  $f$  [N/ tex], resp. [cN / dtex]
- tržná délka  $L_T$  [km], resp. [m] – délka, při níž by se textilie zavěšená na jednom konci přetrhla vlastní tíhou.

#### ***Pevnost***

Při nárůstu zatížení příze dochází k deformaci příze a následně k přetrhu. Hodnota tahové síly nebo napětí při přetrhu je rovna *pevnosti příze*. V praxi se nejčastěji používá *poměrná pevnost* [N/tex], kdy absolutní pevnost [N] je vztažena k jemnosti zkoušené příze [tex], což je vidět ze vzorce (1)



$$R = \frac{F}{T} \quad (1)$$

kde:

R - poměrná pevnost v tahu [N/tex],

F - absolutní pevnost v tahu [N],

T - jemnost příze [tex].

### ***Tažnost***

Při zjišťování pevnosti příze sledujeme současně i tažnost příze. Tažností rozumíme délkovou deformaci, prodloužení příze vlivem tahového namáhání. Poměrné prodloužení příze při přetrhu vyjádříme vztahem, vzorec 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} * 100 = \frac{L - L_0}{L_0} * 100 \quad (2)$$

kde

$\varepsilon$  poměrné prodloužení při přetržení příze, tažnost [%]

$\Delta L$  změna délky vzorku [mm]

$L_0$  počáteční délka vzorku [mm]

$L$  délka vzorku po deformaci, při přetržení příze [mm]

### ***Namáhání v tahu***

Při namáhání v tahu nazýváme odezvu materiálu pevností v tahu. Tuto vlastnost zkoušíme na dynamometru – přístroji pro definované namáhání vzorků a registraci síly a deformace (natažení).

Tahová zkouška je prakticky nejpoužívanější statická zkouška a používá se téměř u všech materiálů. Zkouška spočívá v deformaci zkušební příze tahovým zatížením za účelem stanovení jedné, nebo více vlastností, potřebné pro volbu materiálu. Připravená zkušební příze se upne do čelistí trhacího stroje a zatěžuje se předepsanou rychlostí. Přitom se sleduje grafický záznam závislosti prodloužení na zatěžování.

### ***Napětí***

Pod pojmem napětí  $\sigma$  [Pa] rozumíme absolutní sílu  $F$  [N] přepočítanou na plochu průřezu vzorku  $S$  [m<sup>2</sup>]. Protože plocha průřezu nitě je obtížně stanovitelná,

přepočítává se absolutní síla  $F$  [N] na jemnost vzorku  $T$  [tex]. Přísně vzato bychom v tomto případě měli poměr mezi silou do přetrhu a jemností přízi nazývat poměrnou pevností  $f$  [N.tex<sup>-1</sup>]. Napětí, resp. poměrná pevnost do přetrhu vzorku je nazývána pevností v tahu.

Hodnotu poměrné pevností spočítáme z rovnice (3) a jednotkou je [N.tex<sup>-1</sup>].

$$f = \frac{F[N]}{T[tex]} \quad (3)$$

### ***Deformace***

Při malé deformaci lze očekávat menší ztráty energie (je menší pravděpodobnost, že dojde k vzájemnému posunutí vláken, a při posunutí bude kratší dráha), a to i relativně při kvantifikaci energetických ztrát formou hystereze.

Při natahování vzorku nitě dochází k jeho prodloužení, čili deformování. Absolutní deformaci vyjadřujeme v absolutních jednotkách jako  $\Delta l$  [mm].

Má-li být deformace různých materiálů srovnávána, je ji nutno podobně jako u napětí přepočítat na relativní jednotky, nejčastěji [%]. Nebudeme-li vyjadřovat deformaci v [%], bude vyjádřena jako bezrozměrné číslo [-]. Pro přepočet deformace používáme následující vztahy:

Absolutní deformace [mm]

$$\Delta l = l - l_0 \quad (4)$$

kde:

$l$  – je konečná délka po natažení [mm]

$l_0$  – je počáteční (původní) délka vzorku [mm], zvaná upínací délka

Relativní deformace [-]

$$E = \frac{\Delta l[mm]}{l_0[mm]} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (5)$$

Deformaci popisujeme jako vratnou - elastickou a nevratnou - plastickou. Elastické - vratné deformace lze očekávat pouze v oblasti malých sil a deformací, kde průběh  $F = f(\Delta l)$  je lineární.

### ***Předpětí***

Pro přesné stanovení deformace nitě, která je závislá na změně délky, a pro přesné odečtení počátečního tangentového modulu, se před měřením pevnosti vkládá na textilií počáteční síla, která se nazývá předpětí.

Předpětí se na nit vkládá např. tak, že se na nit zavěsí závažíčko. Moderní přístroje pro měření pevnosti a tažnosti jsou již zkonstruovány tak, že předpětí se zadává do programu číselně (např. 200 mN). Přístroj nejdříve nit zatíží na zadané předpětí a teprve pak začne měřit pevnost a tažnost [2].

### **2.1.3. Faktory ovlivňující deformační vlastnosti příze**

U příze ze staplových vláken jsou deformační vlastnosti ovlivněny vlastnostmi jednotlivých vláken, samotnou strukturou příze a použitou technologií výroby příze. Při experimentálních zkouškách ovlivňují výsledky například následující faktory:

*Jemnost příze* - Povrchová vrstva vláken příze má zaplnění, proti vnitřní části příze, která tvoří její nosnou část. Vlivem nižších sil je povrchová struktura volnější a nepřenáší plně tahové namáhání působící ve směru osy příze.

*Zákrut příze* - Větší normálové napětí mezi vlákny ztíží jejich vzájemný pohyb (zvětší se třecí odpor) a zmenší se tudíž pravděpodobnost, že k posuvu dojde. V případě prokluzu ale budou ztráty energie větší.

Vlivem zákrutu dochází ke stlačování vláken v objemu příze. Dochází k *samosvornému efektu*, čili ke zvyšování počtu mezivláknenných kontaktů a třecích sil.

Minimální hodnota pevnosti příze při nulovém zákrutu je způsobena přirozenou soudržností vláknenného materiálu a se zvyšujícím se zákrutem dochází k růstu pevnosti příze. Maximální pevnost příze je dosažena při *kritickém zákrutu příze*. Na zpomalování růstu pevnosti příze kolem hodnoty kritického zákrutu a následný pokles pevnosti za touto hranicí má vliv zvyšující se sklon vláken vůči ose příze a tím menší podíl vláken na přenosu tahového namáhání.

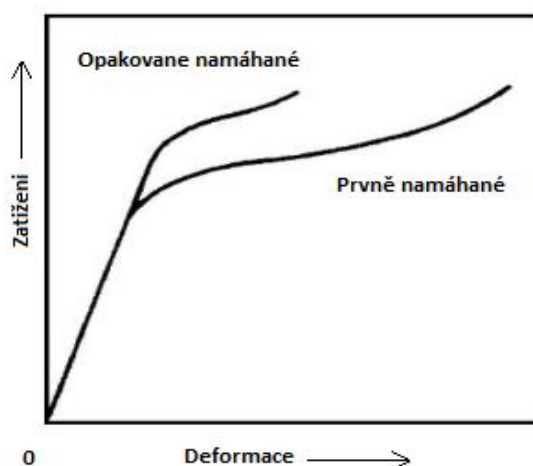
*Upínací délka* - Upínací délkou ovlivníme průměrné hodnoty pevnosti příze při přetrhu. K přetrhu dochází v místě s nejnižší pevností v nejslabším místě příze. Experimentálně bylo prokázáno, že při měření na krátkých úsecích je pravděpodobnost zastoupení pevnostně silných míst vyšší než zastoupení slabých míst. Při měření dlouhých úseků ovlivní průměrnou hodnotu pevností úseky slabých i silných míst a

pravděpodobnost výskytu slabého místa je vyšší. Výsledné hodnoty pevnosti při zkouškách s kratší upínací délkou vycházejí vyšší než u zkoušek s delší upínací délkou.

*Struktura příze* - Struktura příze je výrazně ovlivněna technologií výroby, jejími parametry a určuje vlastnosti příze.

*Opakované namáhání vláken* - Vláknem opakovaně namáhané jednoosým tahovým namáháním vykazuje nižší hodnoty prodloužení, zvedá se hodnota meze kluzu a dosažená pevnost vlákna. Obdobně lze chápat chování opakovaně namáhané příze ze staplových vláken.

Při první zkoušce zatěžování jednoosým namáháním dosáhne příze nejvyšších hodnot prodloužení. Vláknem tvořící přízi se napřímí a po překonání třecí síly mezivlakenných kontaktů se jednotlivá vlákna po sobě posunou. Napřímení vláken zvýší rovnoběžnou orientaci vláken k ose příze. Podílí se více na přenosu tahového namáhání působícího ve směru osy příze. Při opakování zkoušky dosahuje příze vyšší pevnost, ale zároveň nižší hodnoty prodloužení. Na odrazku 2 vykresleny křivky pro opakované namáhání vlákna.



Obr. 2. Křivky deformačních vlastností opakovaně namáhaného vlákna dle [3]

*Délková hmotnost lineárních textilních útvarů* - Lineárním textilním útvarem je myšlen takový útvar o rozměrech  $L \times B \times H$ , jehož jeden rozměr  $L$  lze uvažovat jako nekonečný (platí  $B, H \ll L$ ). Uvažujeme-li, že tento rozměr má orientaci shodnou s osou  $x$ , pak vybereme úsek délky  $l$ , v jehož středu leží bod  $X$ , a vedeme dvě rovnoběžné roviny kolmé na osu  $x$  a procházející koncovými body úseku  $l$ . Je-li  $m$  hmotnost části útvaru nalézající se mezi těmito dvěma rovinami, pak lze veličinu

$$T = \frac{m}{l} \cdot 1000 \quad (6)$$

nazvat střední délkovou hmotností materiálu v bode X.

A její jednotka [tex] je definována jako

$$[tex] = \frac{[mg]}{[m]} = \frac{[g]}{[km]} \quad (7)$$

Hlavními parametry ovlivňujícími délkovou hmotnost materiálu jsou hmotnost jednotlivých vláken a jejich počet v průřezu kolmém k ose **x**. Kolísáním počtu vláken v průřezu vzniká délková hmotnostní nestejnomyěrnost. Jedná se vlastně o kolísání délkové hmotnosti lineárního útvaru na krátkých úsecích. Vlivy způsobující délkovou hmotnostní nestejnomyěrnost lze rozdělit na neperiodické (např. občasné utržení se chuchvalce vláken hromadících se na některém výstupku stroje a jeho začlenění do pramene, nerozvolněné shluky vláken atd.) a periodické. Periodická nestejnomyěrnost bývá zpravidla způsobena mechanickými vadami rotačních částí strojů působících v technologickém řetězci. Vysoká hmotnostní nestejnomyěrnost pramene ovlivňuje nepříznivě výsledný produkt, tj. přízi, a to jak z hlediska mechanických vlastností (zejména pevnost), tak vzhledu (kolísání průměru příze může způsobit pruhovitost látky, Moiré efekt apod.).

Pro hodnocení hmotnostní nestejnomyěrnosti pramenu se již přes třicet let používají v praxi téměř výhradně přístroje Uster Tester švýcarské firmy Zellweger Uster A.G. Uster Tester je určen pro měření v laboratořích a využívá kapacitní princip měření. V textilní praxi zavedly grafický záznam procentuálních odchylek délkové hmotnosti (hmotnostní diagram), variační křivku délkových změn CV(L) nebo tabulkové hodnoty jednotlivých variačních koeficientu CV a sloupcový spektrogram. Hodnota variačního koeficientu CV je pro i-tý vzorek určena podle vztahu, vzorec 8.

$$CV = \frac{100}{\gamma} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\gamma_i - \gamma)^2 dt} \quad (8)$$

kde:

CV [%]	- variační koeficient
T [s]	- perioda vzorkování
$\gamma_t$ [ktex]	- okamžitá hodnota délkové hmotnosti
$\gamma$ [ktex]	- střední hodnota délkové hmotnosti

U přístrojů Uster Tester probíhá měření tak, že přístroj nejprve určí střední hodnotu hmotnosti pramene z úseku předcházejícího měřenému vzorku. Odchylky pak vztahuje k této střední hodnotě. Při silné kolísavé hmotnosti pramene tak může vznikat chyba, protože střední hmotnost předcházejícího úseku se může významně lišit od střední hmotnosti měřeného vzorku.

Délková variační křivka (křivka délkových změn) je výchozím kritériem hodnocení kvality prádelnických pramenu. Vynáší se do logaritmických souřadnic. Jakost pramene charakterizuje sklon křivky, její tvar a hodnoty CV pro konkrétní vlnové délky.

## **2.2. Tkanina**

Tkanina je plošná textilie tvořená zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití (osnovy a útku), navzájem provázaných vazbou tkaniny [4]. Soustava nití ležících ve směru délky tkaniny se nazývá osnova. Skládá se z většího počtu nití (stovky až tisíce) rovnoběžných s okraji tkaniny. Nit kolmá k osnově je tzv. útek. Vazbou tkaniny je označen způsob vzájemného provázání (překřížení) osnovních a útkových nití. Poslední pojem pro popis je dostava tkaniny. Je to parametr, který udává hustotu (počet) dané soustavy nití na 100 mm, v praxi běžně na lem.

Tkanina je tedy tvořena z délkových textilií, nití, a ty jsou tvořeny vlákny. Do konečných vlastností tkaniny patří vlastnosti samotných vláken, struktura nitě a také konstrukce plošné textilie neboli vazba. V mém případě vazba atlasová.

Tkanina je oproti pletenině tvarově stabilnější. Může se nacházet v různých stavech, lišících se i obsahem deformační energie a mající rozdílný sklon ke geometrickým změnám. U tkaniny se zpravidla modeluje geometrie tzv. vazné vlny - osy nitě ve strukturálním elementu [5].

Klasický jednoduchý model struktury předpokládá, že průřez nitě je kruhový a tvar osy nitě ve vazném prvku je složen z kruhového oblouku a úsečky (pro osnovu i útek) [5].

### 2.2.1. Deformační vlastnosti tkaniny

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles změnit tvar a případně i objem (tj. deformovat se) v důsledku působení vnějších mechanických sil. Matematicky lze, pokud je rozložení působící síly  $F$  v ploše namáhaného průřezu  $S$  rovnoměrné, napětí vyjádřit vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (9)$$

kde  $\sigma$  [Pa] je napětí,  $F$  [N] je působící síla a  $S$  [m<sup>2</sup>] je plocha, na kterou síla působí.

Deformace je definována jako změna původního tvaru. Obecně může být deformace materiálu buď vratná (elastická) nebo nevratná (plastická) - spojená s přeměnou mechanické energie na tepelnou. Deformace je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání [6].

Ve větší či menší míře tedy zahrnuje následující tři typy deformačních jevů [7]:

- elastické  $\epsilon_{el}$  Platí:  $\epsilon_{celk} = \epsilon_{pl} + \epsilon_{vis} + \epsilon_{el}$
- viskózní  $\epsilon_{vis}$
- plastické  $\epsilon_{pl}$

Elastická deformace (pružná)	- Je okamžitá, časově nezávislá, dokonale vratná
Plastická deformace (třecí)	- Je dokonale nevratná (trvalá, není funkcí času). - Tření pevných těles (smykové tření).
Viskoelastická deformace	- Časově zpožděná za podnětem - narůstá v průběhu doby zatížení a po odlehčení postupně mizí opět v časové závislosti. Je složená ze dvou současně probíhajících složek- viskózní (časově závislé) a elastické (časově nezávislé)

Jednotlivé deformační mechanismy se na deformaci tkaniny mohou podílet přímo nebo nepřímo. Přímá funkce spočívá v tom, že příslušná změna struktury, např. napřímění nití, se projeví prodloužením tkaniny. Nepřímé působení umožňuje, aby se

projevil jiný deformační mechanismus, tedy např. zvlnění příčné soustavy umožní napřímění nití orientovaných ve směru zatěžování. Z uvažovaných mechanismů deformace mohou mít přímou i nepřímou funkci všechny s výjimkou deformace průřezu; změna jeho plochy nebo tvaru je důležitým faktorem, nemůže však sama o sobě vést k protažení tkaniny (přímou funkci by měla např. při stlačování tkaniny působením normálové síly).

Rovněž obě soustavy nití hrají odlišnou roli při deformaci tkaniny. Určující pro výslednou deformaci je zpravidla soustava méně skloněných nití, zatímco druhá soustava se přizpůsobuje tlaku vyvolanému ve vazných bodech deformací průřezů a zvětšením svého zvlnění, a tím nepřímo napomáhá většímu protažení tkaniny [6]. Protažení nitě není podmíněno ostatními deformačními mechanismy; jeho velikost závisí na velikosti působící osově tahové síly, na materiálu a struktuře nitě. Závislost relativního protažení nitě  $\varepsilon_{rp}$  na působící osově síle  $F_{ax}$  lze získat na základě tahové pracovní křivky nitě. Nejjednodušší vyjádření závislosti relativního protažení  $\varepsilon_{rp} = \varepsilon(F_{ax})$  pomocí matematické funkce je lineární aproximace na základě znalosti tažnosti a pevnosti nitě. Tažnost nitě  $\varepsilon_p$  odpovídá jejímu relativnímu protažení  $\varepsilon_{rp}$  v okamžiku přetrhu a je definována vztahem, vzorek 10.

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \quad (10)$$

kde:

$l_p$  je délka nitě při přetrhu

$l_0$  je původní délka nitě bez vloženého napětí.

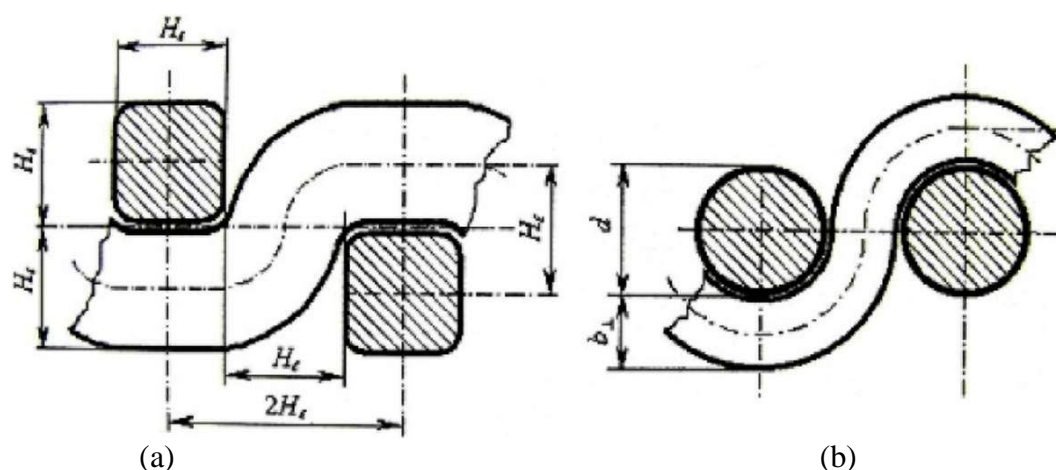
Velikost a tvar průřezu nitě je limitujícím faktorem změny zvlnění a zkosení úhlu. Na deformovatelnosti průřezu tedy závisí i výsledné protažení tkaniny. Určení velikosti a tvaru průřezu v závislosti na směru namáhání může vycházet z Backerovy úvahy [7], že při namáhání v hlavních směrech dochází ke zhuštění nití, tedy ke zvýšení jejich zaplnění a průřezy nití napínané soustavy přitom získávají kruhový tvar, zatímco průřezy příčných nití se zplošťují. Pro diagonální směr namáhání lze použít předpoklad [8], že průřezy nití zaujímají čtvercový tvar. Pokud je nit orientovaná ve směru deformace tkaniny, je její průřez kruhový, při diagonální deformaci má tvar čtverce se



zaoblenými rohy, resp. vrcholy, tvar se pak mění přes obdélníkový na zploštělý, který pak odpovídá namáhání kolmo k orientaci nitě.

Při velké deformaci dochází ke změně tvaru průřezu nebo ke zploštění nití (pomocí přitlačné síly), tedy u hodně napínané příze se uvnitř posouvají vlákna po vlákních a příze se nevratně prodlouží, tj. projev vnitřního tření.

Malá deformace by měla být pružná, při níž ještě nemusí dojít k projevům vnitřního tření ve tkanině.



Obr. 3 Směry namáhání [5].

Při diagonálním namáhání (obr.4a) mají kolmé průřezy zhruba čtvercový tvar. Při namáhání ve směru osnovy (obr.4b) se musí útek maximálně zvlnit, takže tvar jeho osy je složen z půloblouků. Vzdálenost os ve vazném bodě má v obou případech stejnou hodnotu  $H_e$ , rozteč odpovídá dvojnásobku vzdálenosti os.

Při tahovém namáhání tkaniny se uplatňuje více deformačních mechanismů: změna zvlnění, protažení nitě, deformace tvaru a plochy průřezu a změna úhlu mezi nitěmi [7]. Míra jejich uplatnění a podílu na výsledné deformaci tkaniny závisí na vlastnostech nitě, počáteční struktuře tkaniny a na směru zatěžování. Tyto tři faktory přitom spolu souvisí. Řídce dostavená tkanina s malým zvlněním nití bude mít ve směru osnovy a útku nízkou tažnost, danou převážně tažností nití, zatímco v diagonálním směru se ve velké míře uplatní zkosení. U hustě dostavené tkaniny se bude moci více uplatnit napřímení nití při osovém tahu, zatímco zkosení v šikmých směrech deformace bude omezováno tlakem sousedních nití.

## 2.2.2. Způsoby deformace textilií

Deformace může být:

- a) **Tahová** - při jednoosém zatížení (uniaxiální zatížení)
  - při dvouosém (biaxiálním) zatížení
- b) **Ohybová** - působení ohybového momentu,
  - vzpěr (tlak přechází v ohyb).
- c) **Smyková** (deformace tečným napětím)
- d) **Příčné stlačení**

### *Deformace tahová - jednoosé zatížení tkaniny*

Deformace tkanin může probíhat mnoha rozdílnými způsoby. Jeden z možných způsobů je, že textilií budeme zatěžovat v polovině cyklu (tj. do přetrhu, cyklus nelze dokončit), v celém cyklu (zatížení a odlehčení, kde je možné sledovat i schopnost zotavení - pružnost tkaniny).

#### **a) polovina cyklu** - jednoosé namáhání

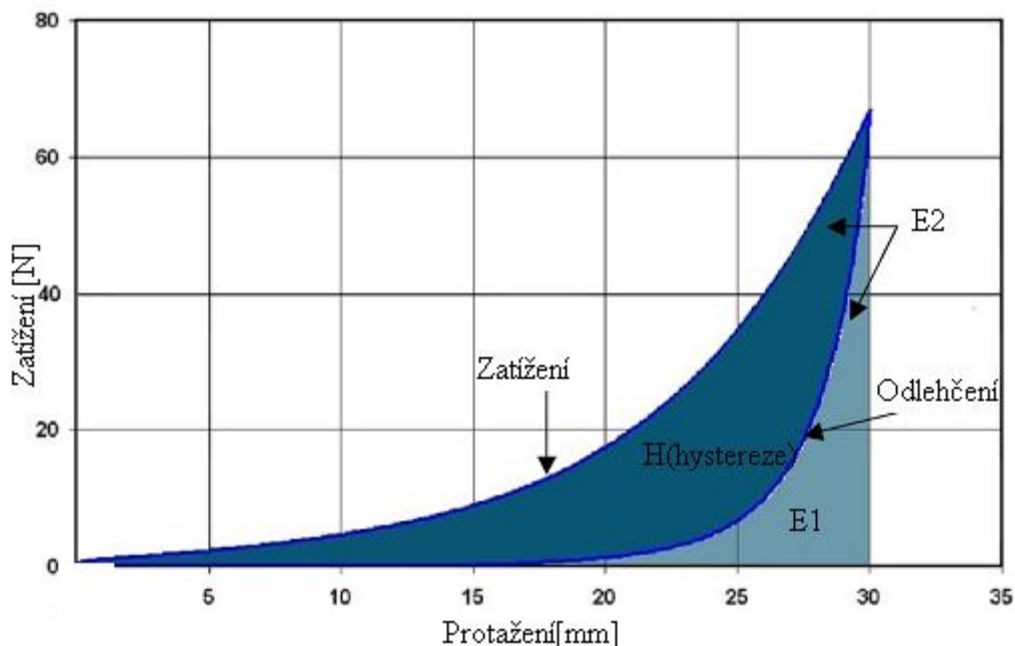
Průběh závislosti směrové deformace tkaniny na napětí má tři charakteristické části. V první části už při malých změnách je velký přírůstek deformace. Počátek křivky je téměř rovnoběžný s osou deformace. Tento růst strmosti deformační křivky je způsobován tvarovou deformací (změnou geometrie) a zároveň posuvem vazných bodů (tj. míst vzájemného kontaktu nití) po nitích.

Ve třetí části bylo již prakticky dosaženo maximální možné tvarové deformace nitě i maximálního možného posuvu vazných bodů, takže se v této nejstrmější části křivky začíná výrazněji uplatňovat i délková deformace zatkané nitě. Na konci této části začíná destrukce tkaniny, která pokračuje až do úplného přetržení. Zde se uplatňuje vnitřní tření, je zde vložena energie, ale při experimentu to nejsme schopni posoudit

#### **b) celý cyklus** (obr. 4) - zatížení a odlehčení

U celého cyklu zatížíme tkaninu skokem konstantní silou, která odpovídá určitému podílu pevnosti tkaniny. Napětí necháme působit určitou dobu, pak tkaninu odlehčíme. Tkanina se deformuje na hodnotu deformace  $\varepsilon_2$ .

Po odlehčení se tkanina zkrátí na hodnotu deformace  $\varepsilon_3$  (projev pružné složky deformace).



Obr. 4 Příklad křivky hystereze celého cyklu.

Na obr. 4 je příklad křivky hystereze, kde  $H$  (tmavě modrá plocha) je absolutní hystereze, která má rozměr energie (práce  $W = F \cdot s$ ), ta se během experimentu přemění na tepelnou. Plocha  $E_1$  (světle modrá část) pod relaxační křivkou (odlehčením) představuje podíl vratné energie, tj. pružné energie, která byla ve vzorku akumulována. A plocha  $E_2$  (obě plochy pod zatěžovací křivkou dohromady) odpovídá celkové energii vložené přístrojem (INSTRON 4411) do vzorku tkaniny.

Poměrná hystereze  $H$  je termín pro relativní vyjádření množství přeměněné energie (z pohledu mechanické energie ztracené) vzhledem k energii vložené, tj. při vyjádření v procentech [9].

Relativní hystereze:

$$H = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100\% \quad (11)$$

kde:

$E_1$ - podíl vratné energie (pružné energie)

$E_2$ -celková energie

#### c) více cyklů - Hodnotí únavu textlie

Vlákna v přízi se mnohonásobně posouvají. Více cyklů může vést k destrukci (poškození vláken).

Textilní materiály se chovají jako elasticko - plasticky poddajné. Deformaci textilního materiálu doprovázejí současně ztráty energie, rozptylující se v okolí kontaktu ve formě tepla. V extrémním případě, kdy okolní prostředí třecího kontaktu neodvádí veškeré vzniklé teplo, dochází ke zvyšování teploty textilního materiálu právě v místě kontaktu, a tím ke změně elasticko - plastických vlastností. Ke tření u textilií dochází na relativně malých plochách, zejména pak u vláken a přízí, a již při malých hodnotách působících sil dochází k pomalým pohybům.

Obecně a u textilie zejména platí, že se mechanická energie mění na tepelnou nejen na povrchu v místě kontaktu vzájemně se posouvajících těles, ale i uvnitř textilie samotné. Existuje tedy protějšek v povrchovém tření, kdy dochází k přeměně energie:

➤ **Třením mezi vlákny v nití.**

➤ **Třením uvnitř vláken** tj. viskózními a plastickými složkami deformace vláken. Analogicky je z hlediska plošné textilie vnitřním třením i posuv nití ve vazných bodech. Vnitřní tření se uplatňuje při deformaci (prakticky jakékoliv) textilie [10].

### **2.2.3. Anizotropie plošných textilií**

Anizotropií se rozumí rozdílnost vlastností v různých směrech. Anizotropií se označuje závislost určité veličiny na volbě směru. Jestliže bychom sledovali tahové křivky a ultimativní charakteristiky u anizotropních plošných textilií, zjistili bychom, že se v různých směrech výrazně liší. Opakem anizotropie je izotropie [11].

Základní tři směry v prostoru jsou směry os x, y, z. Anizotropie mnohých vlastností textilie je způsobena tím, že plošná textilie vzniká z textilií délkových a ty z podobných délkových vláken. Je téměř nemožné uspořádat vlákna rovnoměrně do všech směrů a především klasické textilie (tkaniny a pleteniny) mají výrazně nerovnoměrnou orientaci nití a vláken do různých směrů. Nerovnoměrná charakteristika směrového rozložení nižších struktur ovlivňuje řadu vlastností, které se tak stávají směrově závislými. Nápadná je především anizotropie deformace plošných textilií.

Stupeň anizotropie lze určit z následujícího vztahu:

$$S_A = (X_{max} - X_{min}) / (X_{max} + X_{min}) \quad (12)$$

kde:  $S_A$  - stupeň anizotropie vlastností plošné textilie

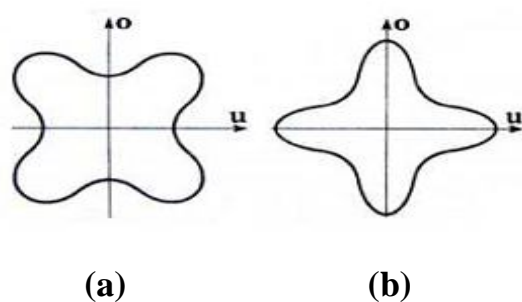
$X_{max}$ ,  $X_{min}$  - maximální a minimální hodnota vektorové vlastnosti plošné textilie měřené v závislosti na směru [5].

#### 2.2.4. Pevnost a tažnost tkaniny

Tkaniny, pleteniny i netkané textilie jsou z hlediska tahové deformace výrazně anizotropní a mnohdy mají svoji typickou polární charakteristiku. Tkaniny jsou taženější v diagonálním směru nežli ve směru osnovy nebo útku. Výsledky experimentů jsou ale zkreslené především proto, že při malé šířce trhaného vzorku jsou podmínky pro různé směry jiné. Pro diagonální směr vychází menší pevnost, nežli odpovídá počtu a pevnosti nití, což může mít za důsledek i změnu tažnosti. Při diagonálním namáhání tkaniny dochází dále k větší příčné kontrakci, a tím k větší pravděpodobnosti přetrhu v místech koncentrace napětí v čelistech. Tažnost tak vlastně zjišťujeme při menším zatížení většiny plochy vzorku nežli při působení zatěžovací síly v hlavních směrech.

Obecně je tažnost definována jako schopnost materiálu měnit svůj tvar vlivem vnějších zatěžujících sil ve směru jejich působení. Tažnost je dána prodloužením (protažením) vzorku zjištěného při přetržení a vyjádřené v procentech upínací délky. Pevnost má dvě očekávaná maxima v podélném a příčném směru, ale často ještě blízko diagonály [12].

Polární diagram tažnosti, počátečního modulu deformace a pevnosti popisuje anizotropii těchto vlastností, tj. jejich závislost na směru (obr. 5). Např. tažnost dvouosé tkaniny ve směru osnovy nebo útku bývá podstatně menší, nežli tažnost diagonální, při které dochází ke zkosení tkaniny (je namáhána i smykovým napětím, které změní úhel mezi osnovními a útkovými nitěmi). Polární diagram má v tomto případě podobu čtyřlístku obr. 5 a [5].



Obr. 5 Polární diagram tažnosti a počátečního modulu tkaniny [5].

Naopak modul počáteční deformace bude pro směr osnovy a útku větší, nežli pro směry ostatní (obr. 5b) [5].

Pevnost je síla, potřebná k porušení textilie jednotkové šířky. Pevnost při namáhání ve směru osnovy nebo útku závisí především na pevnosti odpovídajících nití a na jejich hustotě - dostavě  $D_o$ ,  $D_u$ . Nebude ale odpovídat pouhému součtu pevností nití uložených ve směru namáhání.

K hlavním důvodům, vedoucím k neúplnému využití pevnosti nití ve tkanině patří:

**a) Nestejnoměrnost nitě** - pevností nitě  $F_N$  je myšlena pevnost průměrná, ve tkanině se ale může přetrhnout nejslabší místo - princip nejslabšího článku. Velký vliv na pevnost tkaniny má i tažnost nití a její nestejnoměrnost. Budou-li některé nitě méně tažné, dojde k jejich destrukci dříve.

**b) Způsob namáhání nitě** - způsob namáhání plošné textilie je odlišný v případě trhání a zjišťování pevnosti nitě.

**c) Nestejnoměrnost struktury tkaniny** - nitě s menším součinitelem provázanosti, tj. s menším setkáním, jsou relativně více protaženy a mohou se dříve přetrhnout. Nestejnoměrnost tkaniny může rovněž vést k nestejnoměrnému namáhání.

**d) Lokální koncentrace napětí** při experimentu, která se vyskytuje především v místě upnutí.

Pevnost příze nevyužívá stoprocentně pevnost vláken. Při přetrhu příze dojde k porušení jen určitého podílu vláken. Ve tkanině se zvětší počet a velikost třecích sil mezi vlákny, a jejich pevnost může být využita lépe. Vztah pro výpočet pevnosti má podobu [5].

$$F_{p-o,u} = D_{o,u} \cdot F_N \cdot K_{VP} \quad (13)$$

kde:

$F_{p-o,u}$  - pevnost tkaniny

$D_{o,u}$  - dostava osnovy, dostava útku

$F_N$  - pevnost nití

$K_{VP}$  - koeficient využití pevnosti

Komplikovanější je stanovení pevnosti tehdy, když se na této vlastnosti podílí více soustav nití. Mohou to být nitě uložené v různých směrech, různě pevné a tažné nitě, nitě různě provázané apod. Dříve se přetrhnou nitě méně tažné a nitě, svírající se směrem deformace menší úhel.

Za tažnost považujeme relativní prodloužení v okamžiku prvního porušení struktury, i když dosud neporušené součásti textilie mohou po další deformaci přenášet ještě třeba i několikrát větší napětí. Při modelovém stanovení tažnosti tkaniny ve směru osnovy nebo útku budeme předpokládat, že délka nedeformované nitě ve vazném prvku je  $l_o$  nebo  $l_u$  a rozteč nití  $p_o$  nebo  $p_u$  a dále, že se nit může protáhnout o hodnotu  $\varepsilon_n$  (relativní tažnost). Dále předpokládejme, že se nit při napínání tkaniny ve směru osnovy (útku) může zcela napřímít. Při namáhání tkaniny na mez pevnosti deformace průřezu nití zpravidla dovolí jejich napřímění. Reálná tkanina s nitěmi, jejichž pevnost, tažnost, průměr apod. kolísá, bude mít tažnost při přetržení menší, neboť se díky nestejnomyšlnostem začne trhat dříve, nežli se všechny nitě prodlouží až na mez své tažnosti. Vazební prvek se prodlouží z hodnoty  $p_u$  na  $l_o \cdot (1 + \varepsilon_n)$  pro napínání ve směru osnovy a z hodnoty  $p_o$  na  $l_u \cdot (1 + \varepsilon_n)$  pro deformaci ve směru útku. Pro stanovení tažnosti tkaniny tak získáme vztahy [5].

$$\varepsilon_o = \frac{l_o(1+\varepsilon_n)-p_u}{p_u} = l_o(1 + \varepsilon_n)D_u - 1 \quad (14)$$

$$\varepsilon_u = \frac{l_u(1+\varepsilon_n)-p_o}{p_o} = l_u(1 + \varepsilon_n)D_o - 1 \quad (15)$$

kde:

$\varepsilon_o, \varepsilon_u$  - tažnost osnovy a útku

$l_o, l_u$  - délka nedeformované nitě ve vazném prvku

$p_o, p_u$  - rozteč nití

$\varepsilon_n$  - relativní tažnost

$D_o, D_u$  - dostava osnovy a útku

Poměr  $l_o p_u$  nebo  $l_u p_o$  lze snadno zjistit, pokud známe tzv. setkání tkaniny tj relativní zkrácení nitě jejím zvlněním po zatčení. S použitím našich parametrů je setkání  $\varepsilon_s$  definováno jako

$$\varepsilon_{so} = \frac{l_o - p_u}{p_u} \quad (16)$$

$$\varepsilon_{su} = \frac{l_u - p_o}{p_o} \quad (17)$$

kde:

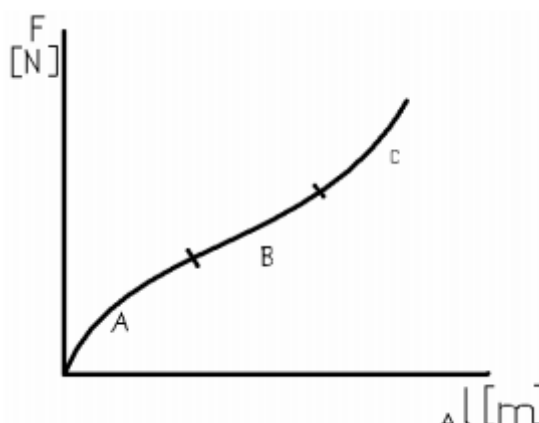
$\varepsilon_{so}, \varepsilon_{su}$  - setkání po osnově a útku

$l_o, l_u$  - délka nedeformované nitě ve vazném prvku

$p_o, p_u$  - rozteč nití

Důležitým faktorem ovlivňujícím popsané charakteristiky je vlhkost. Pevnost i tažnost za sucha a za mokra se od sebe mohou značně lišit. Příčinou je vliv vody na řadu vlastností většiny textilních vláken (pevnost, třecí vlastností, deformační vlastností, geometrie apod.) [5].

Tahová křivka má charakteristické tři sekce, které nejsou mezi sebou ostře ohraničeny, jedna však plynule přechází v druhou a mají u různých textilií různé reakce viz (Obr.6). Sekce A je ovlivněná působením mezivlákněných třecích sil a to jak ve vazných bodech textilie, tak i v nitích, které jsou napřimovány a u kterých se teprve v sekci B vyskytuje větší přírůstek prodloužení. Zde nastává vyrovnání tvaru nití daného vazbou a v tomto silovém poli se tomuto stavu přizpůsobují nitě druhé soustavy (kolmému směru). Sekce C je ovlivněná vlastní pevností nití namáhané soustavy a to až k její mezi pevnosti v tahu [13].



Obr. 6. Znáznornění tahové křivky [13].



### 2.3. Energetické změny při cyklické deformaci textilií

Pro hodnocení energetických přeměn je vhodná cyklická deformace, tj. deformace v celém cyklu nebo i větším počtu cyklů [5].

Deformace textilie je téměř vždy spojena s projevy vnitřního tření, které je důsledkem vzájemného posouvání vláken uvnitř textilie. Toto je také spojeno s přeměnou mechanické energie na tepelnou, tzv. hysterezi (viz. obr.4).

Cyklické namáhání je definováno jako pravidelný vzrůst a pokles deformace a napětí v niti doplněný prodlevami. Tento postup může být realizován do konstantní deformace (resp. síly) nebo se vzrůstající úrovní napětí, popřípadě až do přetrhu. Vynecháme-li některou část cyklu (zejména prodlevu), hovoříme o polocyklickém namáhání. Podle této definice by samozřejmě také zkouška pevnosti v tahu byla definována jako namáhání polocyklické do přetrhu. Cyklické namáhání je možno realizovat buď v pomalém režimu (pseudostaticky) nebo v rychlém režimu (dynamicky). Příklad jednoho cyklu deformace textilie je na obr. 4.

Plocha pod zatěžovací křivkou (doprava nahoru) odpovídá celkové energii vložené přístrojem do vzorku textilie, plocha pod relaxační křivkou (doleva dolů) odpovídá podílu vratné energie, tj. pružné energie která byla ve vzorku akumulována. Rozdíl těchto energií (plocha mezi oběma křivkami) potom představuje energii, která se během experimentu přemění na tepelnou. Poměrná **hystereze**  $H$  je termín pro relativní vyjádření množství přeměněné (z pohledu mechanické energie ztracené) energie vzhledem k energii vložené, tj. při vyjádření v procentech, plocha pod relaxační křivkou (doleva dolů) odpovídá podílu vratné energie, tj. pružné energie která byla ve vzorku akumulována.. Poměrná **hystereze**  $H$  je termín pro relativní vyjádření množství přeměněné (z pohledu mechanické energie ztracené) energie vzhledem k energii vložené, tj. při vyjádření v procentech.

Malá tažnost znamená taky malý energetické ztráty a nízký počet přetrhu. Naopak, při vysoké tažnosti energetické ztráty (tření mezi vlákna) jsou větší a projevují se ve větším počtu roztrhávání vláken, způsobeným nerovnosti tkaniny. Hystereze přibližuje se k 90 %, co znamená, že jen 10% deformační energie mají elastický charakter.

Při malé deformaci lze očekávat menší ztráty energie (je menší pravděpodobnost, že k vzájemnému posunutí vláken dojde, a při posunutí bude kratší dráha), a to i relativně při kvantifikaci energetických ztrát formou hystereze.

Ztráty mechanické energie jsou u tkanin menší než u pletenin, neboť u tkanin nedochází k tak velkému posuvu nití neboli ke změnám polohy kontaktních míst osnovy a útku (vazný bod). Při zkoušce pevnosti a tažnosti tkaniny lze vyhodnotit celkovou energii vloženou do vzorku. Je to síla působící po dráze, odpovídající protažení textilie.

Podíl pružné energie (tedy v textilií akumulované a z hlediska mechanické energie bezztrátové) a nepružné energie, odpovídající trvalé deformaci vzorku určit samostatně nelze. Energie vložená do experimentu se ale ztratit nemůže a její elastický podíl, představovaný pružnou deformací vláken, se přemění až po přetrhu na tepelnou formu.

Na proměnnou hystereze má také vliv délka cyklu. Delší cyklus je spojen s většími přeměnami energie, tj. i s většími hodnotami vnitřního tření. Nanejvýš pravděpodobné je, že i velmi malé protažení nitě bude spojeno s alespoň s nějakou energetickou přeměnou (tj. že se některá vlákna budou po sobě posouvat). Pro získání podrobnějších a přesnějších dat lze využít neustále se rozvíjejících softwarů.

## **2.4. Vliv vlhkosti na vlastnosti textilií**

Vlastnosti textilních vláken a textilií se mění podle toho, jaká je jich vlhkost. Textilní vlákna jsou schopna přijímat vlhkost z ovzduší, od lidského těla apod. Můžeme rozlišit celkem čtyři druhy vlhkosti. Tyto druhy jsou děleny podle toho, jak je voda vázána na vlákenný materiál:

*Adhezní vlhkost:* Udrží se především na povrchu vláken a lze ji odstranit mechanickými účinky.

*Kapilární vlhkost:* Může být v kapilárách jednotlivých vláken, v dutinách mezi jednotlivými vlákny příze nebo plošné textilie. Kapilární vlhkost zůstává na vláknech po styku s velmi vlhkou atmosférou nebo po smočení. Tato vlhkost se dá odstranit termickým sušením.

*Hygroskopický vázaná vlhkost:* Je to vlhkost, kterou pojmu vlákna ze vzduchu. Je možné ji odstranit pouze při teplotě vyšší, než je teplota nasycených par při daném tlaku okolí.

Tato schopnost přijímat vlhkost se označuje pojmem sorpční vlastnosti. Pod pojmem sorpce vláken zahrnujeme veškeré chování vlákna v interakci s prostředím plynným nebo kapalným, resp. vázání plynů nebo kapalin do jeho struktury. Dynamika tohoto děje může být dvojitá:

**Nevratná - ireversibilní (chemisorpce)** - je charakterizován trvalou vazbou plynu či kapaliny na molekulovou strukturu řetězce-**chemickou vazbou**. Tuto vazbu nelze jednoduchými způsoby zrušit a řetězec uvést do původního stavu.

**Vratná- reversibilní (fyzikální sorpce)** - je sice vazba do molekulové struktury, ale je to vazba fyzikální, energeticky chudší, zpravidla na boční skupiny řetězce. Navíc jsou to vazby nestálé a dají se za podmínek snížení koncentrace plynu či vlhkosti opět zrušit - vniká děj reversibilní.

Standardní klimatické podmínky pro zkoušení vlastností jsou vlhkost vzduchu  $65 \pm 2[\%]$ , teplota vzduchu  $20 \pm 2[^\circ\text{C}]$ . Teplota se měří teploměry, vlhkost vlhkoměry (psychrometry) popř. Hygrometry.

Vlákno, resp. jeho molekulová struktura, může pojmout tolik vlhkosti, až její množství je v rovnovážném stavu s vlhkostí okolního prostředí. Parciální tlaky vodních par obou prostředí musí být v rovnováze. Ne všechna vlákna však vykazují vysoké hodnoty těchto obsahů. Pokud při relativní vlhkosti vzduchu 100% je relativní vlhkost vlákna  $r < 1 \%$ , tato vlákna nazýváme **hydrofobní**- tj. prakticky nepřijímají vodu, resp. ji odpuzují, nesmáčejí se atd. Ostatní vlákna – **hydrofilní** - kterých je většina, jsou taková, že molekuly vody jsou vázány vodíkovými můstky na hydrofilní skupiny řetězce.

Parciální přetlak vodních par okolí způsobuje, že molekuly vody difundují do vlákna. Nejprve vejdou ve styk s jeho povrchovým reliéfem a nastává tzv. adsorpce.

Molekuly vody jsou fyzikálně vázány povrchem vlákna. Teprve po skončené adsorpci následuje absorpce jako pomalejší proces - molekuly pronikají do jádra vlákna.

Změna hmotnosti vlákna způsobená přítomností vody, má za následek i změnu jeho tvaru. Amorfní segmenty řetězců se od sebe oddalují, zaujímají větší objem a mění geometrii vlákna - vlákno bobtná, mění se jejich hmotnost, která je důležitá při obchodování a pro stanovení jemností. Téměř ve všech případech tažnost se stoupací vlhkostí stoupá a pevnost klesá. Výjimku tvoří přírodní celulózová vlákna, která se

stoupající vlhkostí zvětšují svoji pevnost, naproti tomu velmi podstatně snižují svoji pevnost za mokra vlákna z regenerované celulózy.

Bobtnání závisí na teplotě, tlaku a času. Při bobtnání se výrazně zvětšuje objem vlákna než jeho délka. Bobtnání v šířce je způsobeno tím, že amorfni struktury vlákna jsou uloženy na šířku. Krystalické struktury jsou uloženy převážně podél vláken, proto je bobtnání v délce méně výrazné. Molekuly vody se při bobtnání dostávají do amorfni částí vlákna, do krystalické části pronikají jen velmi málo. Bavlna se při bobtnání zvětší v průměru o 14,0% a v délce o 1,2%.

Jak již bylo řečeno vlhkost má na vlákna značný vliv. Textilní vlákna si udržují svou rovnováhu vlhkosti s okolním prostředím. Absorpcí nebo desorpcí vody dochází ke změnám rozměrů vláken. Takovéto změny mohou vést k odírání a mechanickému poškození vláken. Pokud vlákna absorbují vodu z vodní páry, tak dochází nejprve ke kondenzaci na povrchu vláken a v závislosti na RV je část takto kondenzované vody transportována do vlákna, část zůstává na povrchu a je transportována kapilárními silami.

V přístupných (amorfni) oblastech vlákna dochází vlivem molekul vody k tvorbě sekundárních vazeb. Sorpci vlhkosti ve vláknech a jejich přístupnost pro molekuly vody ovlivňují hydrofilní skupiny, které jsou v celulóзовých vláknech celkem tři, ale přesto neabsorbují vlhkost stejně. Molekuly vody se mohou vázat přímo na aktivní místa, což jsou hydrofilní skupiny nebo na molekuly vody, které jsou ve vlákne již obsažené. Sorpce a desorpce vlhkosti neprobíhají stejně, protože vlhkost vlákna, která je za daných podmínek s okolím v rovnováze, bude různá, pokud tohoto stavu bylo dosaženo sorpcí nebo desorpcí. Bavlna obsahuje při 20 °C a 65 % RV 6 – 8% vlhkosti. U celulóзовých vláken dochází se zvyšujícím se obsahem vlhkosti ke zvyšování pevnosti. Při nízké relativní vlhkosti jsou vlákna křehká a lámavá, protože dochází k jejich vysušení. K vysušení dochází, pokud je RV pod 40 %. Důsledkem absorpce vody je změna rozměrů vláken, tedy jejich bobtnání. K příčnému bobtnání dochází díky tvorbě vodíkových můstků, které jsou v amorfni oblasti. Bobtnání podélné je nižší [14].

### **3. Experimentální část**

#### **3.1. Teoretické předpoklady experimentu**

Vlákna mají ve větší nebo menší míře schopnost vracet se po deformaci do původních rozměrů i do původního tvaru. Této vlastnosti se říká pružnost.

Po cyklickém zatěžování a odlehčování vláken, zůstává určitá deformace vláken trvale. Při novém zatěžování neprobíhá proces deformace vlákna stejně a rovněž po uvolnění napětí se vlákno nevrací zpět po původní cestě, ale cestou jinou. Kdyby bylo vlákno dokonale elastické, vracelo by se zpět, a to nejen do původního stavu energetického a do původního rozměru, ale i stejnou cestou. Při nedokonale pružných vláknech se však uvolňuje jen část energie vložené do vlákna při deformaci. Křivky napětí-tažnost jsou při zatěžování vlákna odlišné od křivek napětí-tažnost při uvolňování napětí a objevuje se hysterezní smyčka. Podobně jako u zjišťování práce potřebné k přetržení je možno graficky zjistit práci, tj. energii nahromaděnou (nevratně) ve vláknech a energii uvolňovanou vláknem při pružném zotavení.

Vlhkost podstatně ovlivňuje vlastnosti vláken a je známo, že přírodní celulózo-ová vlákna se stoupající vlhkosti zvětšují svoji pevnost. Pro popis energetických ztrát v závislosti na vlhkosti předpokládáme, že při zvětšení pevnosti vlákna je za potřebí větší síla na překonání vnitřních spojení a proto ztráty energie budou větší.

Při rozboru vlivu vlhkosti na tkaninu musíme dávat pozor na faktory, které mohou ovlivňovat vnitřní tření (např. vazba či dostává i při použití stejného materiálu vzorku). To by mohlo vést k odlišným výsledkům hystereze. Dá se předpokládat, že řídce dostavená tkanina s malým zvlněním nití může mít ve směru osnovy a útku nižší tažnost, danou tažností nití. V diagonálním směru se ve velké míře uplatní zkosení, tažnost by měla být tedy vysoká. U atlasové vazby lze také předpokládat, že maximální pevnost při zvýšení vlhkosti je v diagonálním směru a minimální pevnost ve hlavních směrech. Proto největší energetické ztráty budou u mokrého vzorku při testování v diagonálním směru.

### **3.2. Popis univerzálního přístroje Instron 4411**

K měření hystereze, pevnosti a tažnosti jsem použil dynamometr INSTRON 4411 na obr. 7, který je k dispozici na Technické univerzitě v Liberci v laboratoři katedry textilních technologií. Jedná se o přesné zařízení, který umožňuje univerzální zkoušení textilie. Přístroj je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií.



*Obr. 7* Univerzální zkušební přístroj Instron 4411.

Přístroj se skládá ze dvou hlavních částí, řídicí jednotka (1) a zařízení pro zatěžování vzorků (2). Zatěžovací zařízení je tvořeno příčnickem (3), na kterém je nasazena snímací hlava (4) s horní upínací čelistí (5). Snímací hlava je v podstatě čidlem síly a délkových změn a je propojena s řídicí skříní. Kromě horní upínací čelisti je zapotřebí i dolní upínací čelist (6). Čelist musí být volena podle parametrů vzorku a požadované zkoušky. Zapsání a vyhodnocení deformačních vlastností provádí počítač připojený k samostatnému přístroji.

### **3.3 Měření pevnosti a tažnosti příze**

Základním principem měření tažnosti a pevnosti příze je vnější tahové namáhání silami působícími ve směru osy příze (jednoosé namáhání). S narůstajícím zatížením se příze stále více deformuje a následně přijde okamžik destrukce. Hodnota tahové síly v tomto okamžiku představuje pevnost. K destrukci dojde v nejslabším

místě, na nejméně pevném místě zatěžovaného úseku. Lze očekávat, že dlouhý úsek příze obsahuje alespoň jedno extrémně málo pevné místo, u krátkého úseku je tato pravděpodobnost výskytu extrémně málo pevných míst nižší.

Pro měření tažnosti a pevnosti příze byla použita bavlna česaná. Vstupní vlastnosti přízí, které byly následně používány pro jednotlivé měření, jsou zobrazeny v tabulce 1.

Surovina	Technologie	Jmenovitá T [tex]	Naměřená T (průměr) [tex]
Bavlna MII	Česaná	12	11,7

*Tab. 1 Vstupní vlastnosti přízí*

Vstupní parametry měřicího přístroje Instron 4411 zvolili jsme podle vlastností testovacích vzorků, z ohledu na délku vláken, rychlosti zatěžování apod.

#### **Nastavení měřicí aparatury**

##### Vstupní parametry:

Upínací délka            500 [mm]  
Rychlost zatěžování    100 [mm/min]  
Předpětí vzorku        0,6[N]  
Přerušeni zkoušky      při poklesu  
 $F_{max}$  o 40 %.

##### Výstupní parametry:

Pevnost                     $F_{max}$  [N]  
Tažnost                     $A_{max}$  [%]  
Tažnost                     $A_{max}$  [mm]  
Modul pružnosti         $E$  [MPa]

Pojďme se podívat na přípravu vzorku u **suché příze**. Před začátkem měření potáč příze byl vysušen v klimatizačním boxu na katedře textilní chemie, který je znázorněn na obrázků 8.



*Obr. 8* Klimatizační komora

Zvolena teplota uvnitř boxu byla 105°C. Doba umístění vzorku trvala 1 hodinu. Kriteériem pro hodnocení vysoušení bylo to že, rozdíl hmotnosti materiálu mezi dvěma po sobě následujícími váženími nepřesáhne 0,01 % původní hmotnosti vzorku. Po vysušení vzorky opět byly zváženy na vahách s přesností  $10^{-4}$  g .

Podle níže uvedené rovnice, z průměru hmotnosti pro (klimatizovaný a suchy) vzorek byla vypočítána relativní vlhkost suchého vzorku tkaniny, která je rovna 5,6%.

$$r = \frac{m_k - m_s}{m_s} \cdot 100 [ \% ]$$

kde:

$r$  - relativní vlhkost příze [ % ]

$m_k$  - hmotnost klimatizované příze [ g ]

$m_s$  - hmotnost suché příze [ g ]

Po zvážení vzorky byly přenášeny a uchovávány v malých vzduchotěsných nádobách, aby nemohly absorbovat vlhkost ze vzduchu. Měření na přístroji Instron 4411 jsem se snažil provést dostatečně rychlé a přesně, aby nedošlo k výrazným přírůstkům vlhkosti při proměřování.



Před začátkem měření **klimatizované příze** bylo zapotřebí vlákna klimatizovat po dobu 24 hodin při teplotě  $20 \pm 2$  °C a vlhkosti vzduchu  $65 \pm 2$  %. K tomuto byla používána klimatizační komora. Bavlna obsahuje při 20 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu 6 – 8% vlhkosti.

Zavlhčování příze pro přípravu **mokrě příze** bylo prováděno v nádobě. Voda byla zahřátá na teplotu okolí. Přívažek vlhkosti byl zjišťován po určité době, aby se vlhkost rovnoměrně rozložila po celé ploše vzorku. Rozdíl v hmotnosti suchého a navlhčeného vzorku byl ověřován na digitálních vahách. Příze byla zavlhčována jen do té míry, aby z ní neodkapávala voda, která by zůstávala na váhách a způsobila tak větší nepřesnosti ve výpočtech. Literatura uvádí, že textilie je absolutně mokrá a voda z ní odkapá až při 300% vlhkosti. Při měření se však textilie chovala jako absolutně mokrá již pod 200%. Celkový přehled měřených vzorků je uveden v příloze č.5.

Podle výše uvedené rovnice, z průměru hmotnosti pro klimatizovaný a mokrý vzorek byla vypočítána relativní vlhkost mokrého vzorku příze, která je 149 %.

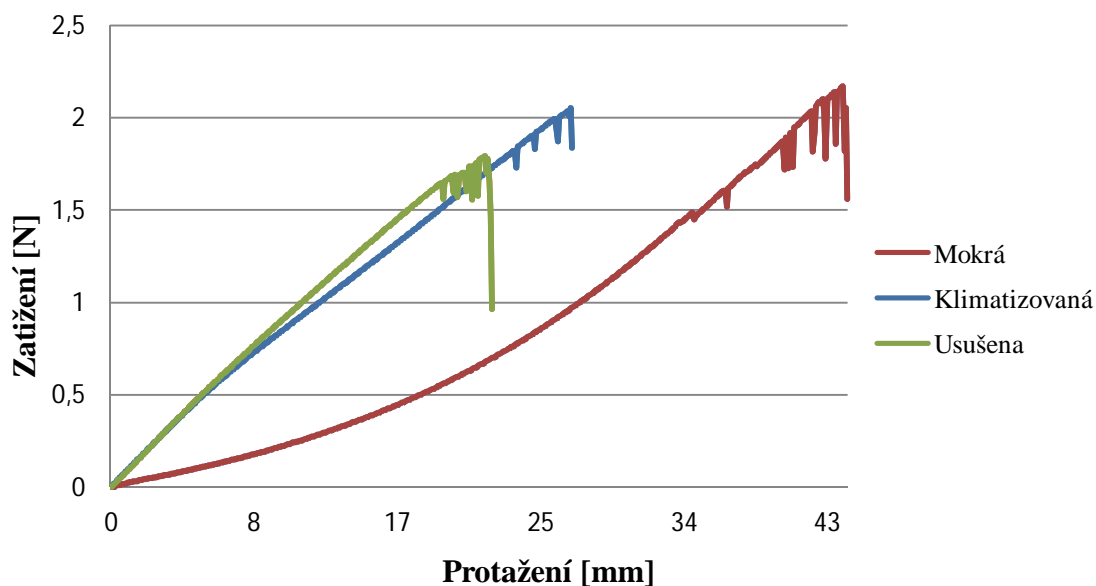
Samotné měření probíhalo tím způsobem, že příze byla vždy odmotána na zvolenou délku, uchycena do čelistí dolní, potom horní a následně po zatěžování došlo k přetrhu. Z potáče bylo provedeno 50 měření. 100 % bavlněné česané příze, dopřádané prstencovou technologií.

Z naměřených dat, uvedených v tabulce 2, můžeme posoudit vliv vlhkosti na pevnost a tažnost příze. Největší tažnost má mokrá příze a zároveň i její pevnost je největší.

	Tažnost (mm)	Pevnost (N)	Tažnost (%)	Relativní pevnost [N/tex]
Mokrá	40,92	2,14	8,18	0,18
Klimatizovaná	28,76	2,01	5,75	0,17
Suchá	21,28	1,76	4,25	0,15

*Tab. 2 Tažnost a pevnost přízí*

Na grafu 1 je vidět vliv protažení vzorku, a je zřejmé, že s rostoucím zatížením protažení se zvyšuje.



Graf. 1 Tahové křivky do přetrhu

Při předpokladu náhodného rozdělení měřených veličin byly použity následující charakteristiky a metody vyhodnocení. Pro sledování jakosti a analýzu dat, výpočet a určování vzájemných závislostí u sledovaných náhodných veličin, byl použit statistický program pro QC Expert 3.2, podrobněji viz literatura [15].

Pro posuzování významnosti měření všechna data byla statisticky zpracována dle uvedených vztahů:

Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Rozptyl

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{S^2}$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{x}} * 100\%$$

95% interval spolehlivosti

$$IS = \bar{x} \pm t_{(1-\alpha/2)}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

kde:  $t$  ... kvantil Studentova rozdělení

Tabulky průměrných hodnot prodloužení a síly do porušení materiálu, pro porovnání pevnosti a tažnosti jednotlivých vzorků příze. Naměřená data byla vyhodnocena v programu QC. Expert 3.2.

	Mokrá	Klimatizovaná	Suchá
Tažnost [%]	8,18	5,75	4,25
Směrodatná odchylka[%]	0,76	0,48	0,19
Variační koeficient[%]	9,2	8,3	4,4
IS 95%	<8,00;8,36>	<5,64;5,86>	<4,21;4,30>
Minimum	7,96	5,62	4,2
Maximum	8,4	5,88	4,31

Tab. 3 Průměrné hodnoty tažnosti příze a statistická charakteristika.

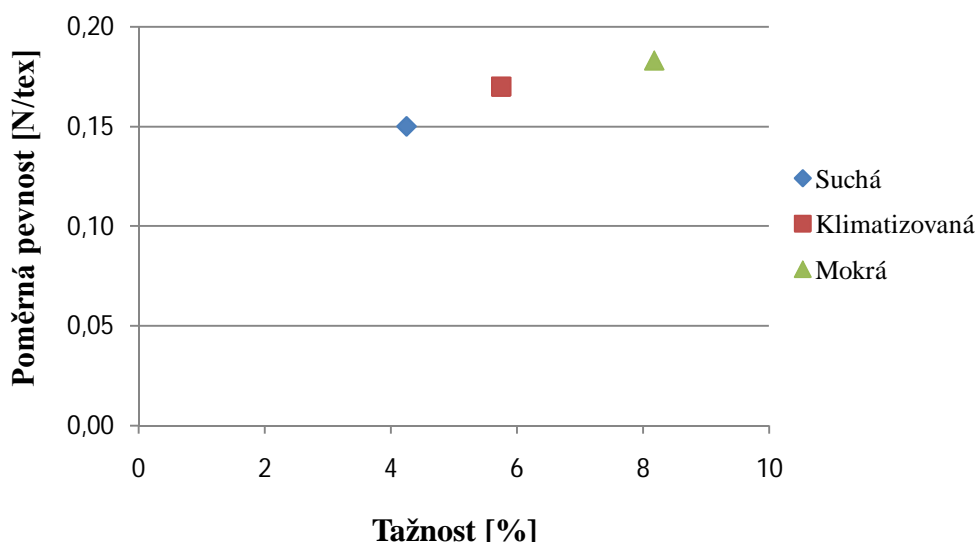
	Mokrá	Klimatizovaná	Suchá
Poměrná pevnost [N/tex]	0,183	0,17	0,15
Směrodatná odchylka[N/tex]	0,018	0,014	0,009
Variační koeficient[%]	9,8	8,2	6
IS 95%	<0,179;0,187>	<0,176;0,183>	<0,147;0,152>
Minimum	0,178	0,167	0,147
Maximum	0,188	0,175	0,153

Tab. 4 Průměrné hodnoty pevnosti příze a statistická charakteristika.

Z vypočtených dat, uvedených v tabulkách 3 a 4 je vidět ze mokra příze má největší tažnost a poměrnou pevnost.

Ovšem, podíváme-li se opět blíže na intervaly spolehlivosti, zjistíme, že překrývají. Proto, v případě mokré a klimatizované příze, není vliv vlhkosti na pevnost příliš významný.

Pro hodnocení pevnosti a tažnosti příze můžeme použít graf 2.



*Graf. 2 Pevnost a tažnost příze.*

Z naměřených dat je vidět, že pevnost i tažnost za sucha a za mokra se od sebe značně liší. Příčinou je vliv vody na řadu vlastností většiny textilních vláken (pevnost, třecí vlastnosti, deformační vlastnosti, geometrie apod.).

Z mého experimentu vyplývá, že maximální hodnoty tažnosti jsou pro mokrý vzorek příze, který obsahuje největší množství vody ve vláknech. Minimální hodnoty tažností jsou pro vysušený vzorek. Můžeme tedy říci, že naměřené hodnoty tažnosti odpovídají teorii popsané v kapitole 2.4.

Pevnost příze mokře není příliš odlišná než klimatizované, ale je vyšší v porovnání z vysušeným vzorkem příze. Tedy můžeme říci, že se stoupající vlhkostí, zvětšují se pevnost bavlněné příze. Naměřené hodnoty pevnosti odpovídají teorii popsané v kapitole 2.4.

### **3.4. Zjištění hystereze příze**

K měření hystereze jsme použili dynamometr INSTRON 4411, který je uveden na obr. 8 a popsány v kapitole 3.2. Níže jsou uvedeny vstupní parametry stroje.

## Nastavení měřicí aparatury

### Vstupní parametry:

Upínací délka	500 [mm]
Rychlost zatěžování	100 [mm/min]
Předpětí vzorku	0,6[N]
Přerušení zkoušky	při poklesu $F_{max}$ o 40 %.

### Výstupní parametry:

Energie	$E_{max}$ [J]
Energie	$E_{min}$ [J]
Zatížení	$F_{max}$ [N]

Na začátku měření jednotlivé vzorky byly upevněné v čelistích měřicího stroje. Potom následovalo cyklické namáhání a odlehčení vzorku. Pro každý vzorek bylo provedeno 6 cyklu. Hystereze byla sledovaná v závislosti na obsahu vlhkosti v přízi pro 50 % tažnost.

Poměrná hystereze  $H$  je vyjádřena jako množství přeměněné energie (z pohledu mechanické energie ztracené) vzhledem k energii vložené, tj. při vyjádření v procentech.

Relativní hystereze:

$$H = \frac{E_1 - E_2}{E_1} * 100\%$$

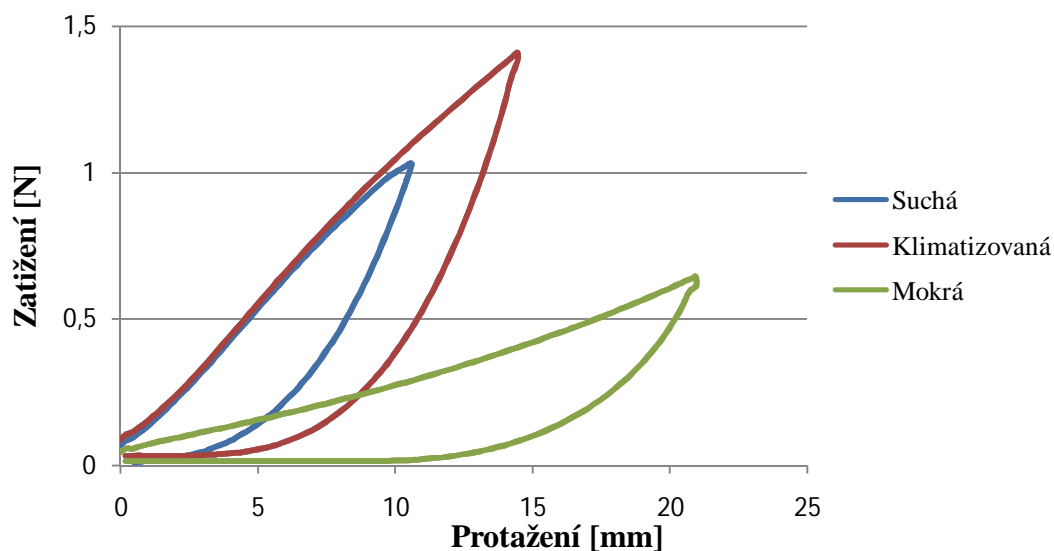
Kde:

$E_1$ - podíl vratné energie (pružné energie)

$E_2$ -celková energie

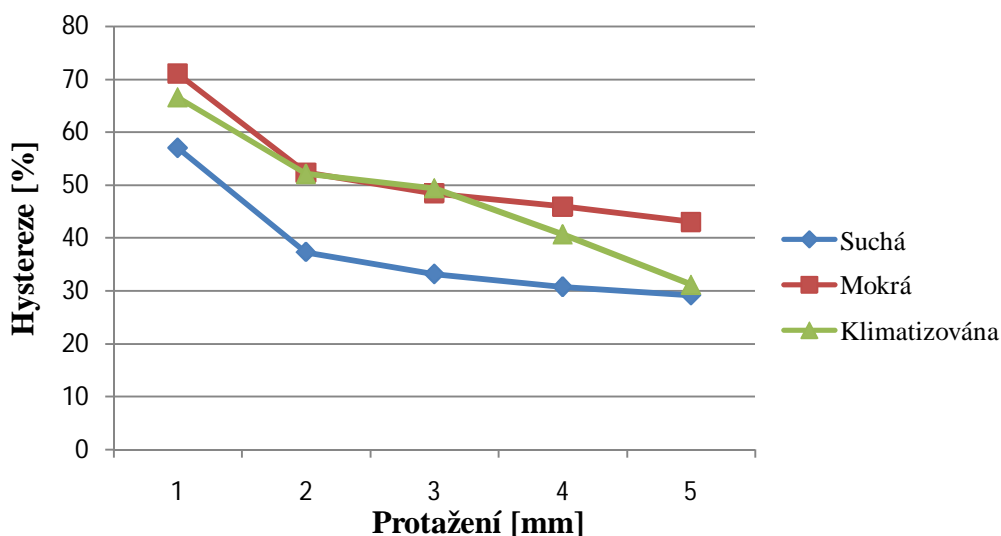
Z naměřených dat byly připravené křivky hystereze v závislosti na vlhkosti. Z grafu 3 je vidět, že největší protažení při minimálním zatížení má mokrá příze.

Příklad křivek hystereze příze při 50 % tažnosti.



Graf. 3 Deformační křivky hystereze příze v závislosti na obsahu vlhkosti.

V grafu č.4 je vyjádření závislosti hystereze na cyklu namáhání. Hystereze dosahuje nejvyšších hodnot v prvním cyklu zatěžování pro vše druhy příze. Zkouška potvrdila předpoklad, že zásadní vliv na hysterezi má počet cyklu namáhání.



Graf 4 Závislost hystereze příze na cyklu zatěžování

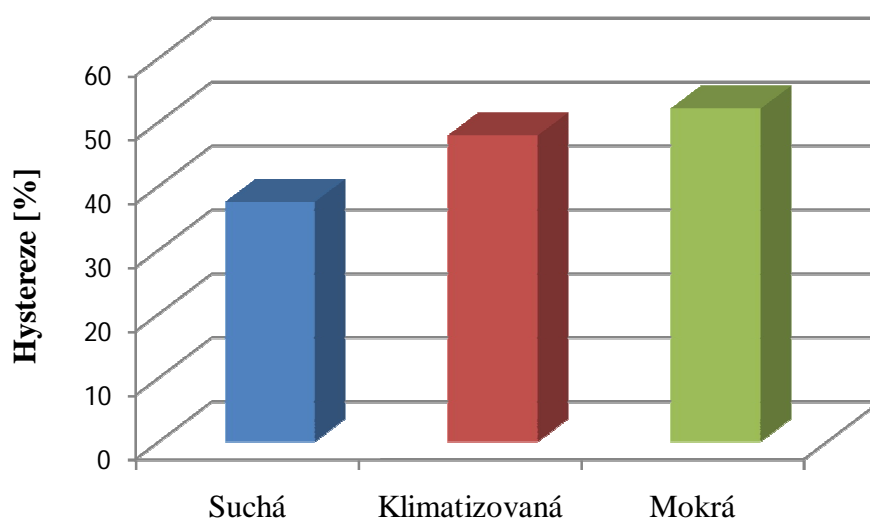
Z grafu je vědět, že druhý cyklus je odlišný než první cyklus. Třetí cyklus má opět jiný průběh, avšak rozdíl mezi průběhem druhého a třetího cyklu bude menší, než rozdíl mezi prvním a druhým cyklem. Při dalších cyklech se budou tyto rozdíly stále zmenšovat, až po určité době budou opakující se cykly probíhat prakticky stejně. Toto souvisí s mechanickým kondicionováním vlákna.

V tabulce č.5 jsou uvedené průměrné hodnoty hystereze, směrodatné odchylky, variační koeficienty a intervaly spolehlivosti z šesti měření.

	Mokrá	Klimatizovaná	Suchá
Průměr [%]	52,1	47,9	37,5
Směrodatná odchylka[%]	11,1	13,0	11,4
Variační koeficient[%]	21,3	27,2	30,4
IS 95%	<41,5;62,7>	<35,3;60,5>	<26,5;48,3>

Tab. 5 Hodnoty hystereze příze a statistická charakteristika.

Podle statisticky zpracovaných dat a vypočteného intervalu společnosti můžeme říct, že výsledky měření nejsou statisticky významné.



Graf 5 Průměrné hodnoty hystereze příze pro jednotlivé vzorky.

Tento graf 5 vyjadřuje závislost hystereze na obsahu vlhkosti. Z grafu je patrné, že čím je menší vlhkost, tím je větší hystereze. To souvisí s chemickou i fyzikální strukturou vlákna.

### 3.5. Pevnost a tažnost tkaniny.

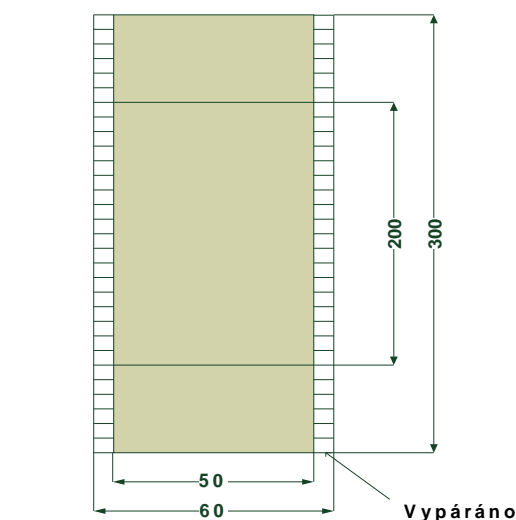
Experiment je založen na zkoušce pružnosti tkaniny při cyklické tahové deformaci v různých směrech. Je měřena pevnost a tažnost tkaniny v závislosti na směru deformace.

#### **Popis vzorku**

Pro experimentální měření pevnosti a tažnosti jednotlivých tkanin byli použity vzorky tkaniny od firmy VEBA – damašek Apollo 44 v atlasově vazbě se složením 100% bavlny, stříhané ve směru osnovy pod úhlem  $0^\circ$ , útku pod úhlem  $90^\circ$  a v diagonálním pod úhlem  $45^\circ$ , které se dále klimatizovaly (relaxovaly) v prostorách klimatizační komory po dobu 24 hodin při teplotě  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $65 \pm 2\%$

Vzorek tkaniny je uveden na obr. 14. Upínací délka vzorku je 200 mm, na každé straně je přidáno 50 mm pro upnutí vorku do čelistí trhacího stroje. Šířka upínacího vzorku je 50 mm, z každé strany je vypáráno 0,5 mm na pracovní vzorek, a to ze dvou následujících důvodů:

- pro případ, kdyby došlo k poškození některé z nití při přípravě vzorku (např. stříhnutím do nitě)
- při namáhání se zkušební vzorek zužuje, tedy nitě by nesly velké napětí



Obr. 9 Tvar vzorků pro zkoušení pevnosti a tažnosti tkaniny

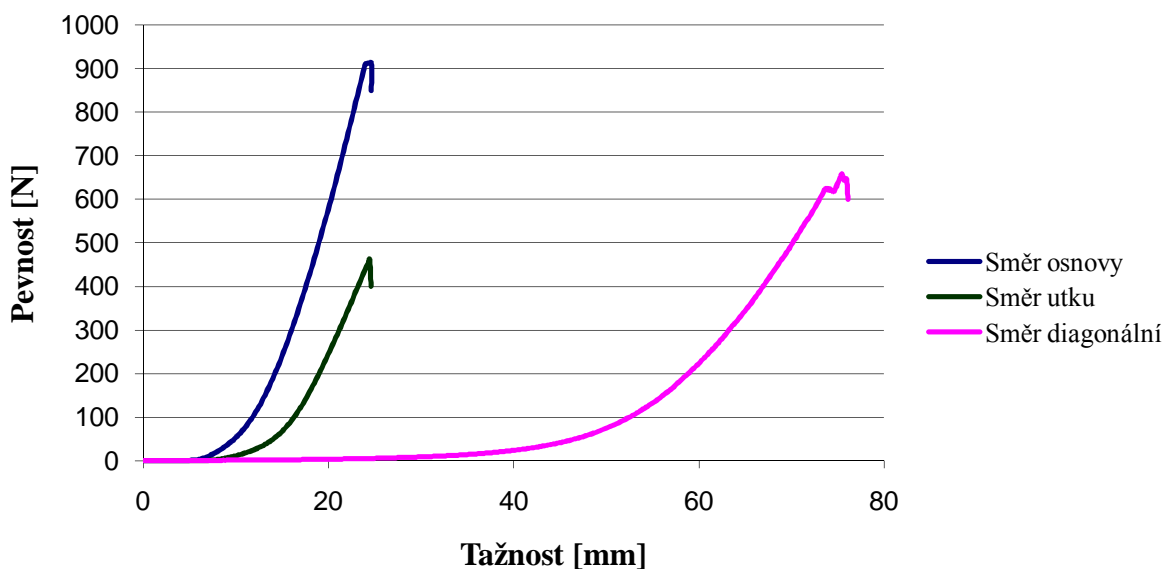


### Postup měření

Při upnutí vzorku tkaniny do čelistí jsem použil smirkový papír, který zabrání uvolnění vzorku z čelistí či možnému posuvu. Zkušební vzorek se vloží do upínací čelisti nejprve do horní pohyblivé a poté do spodní, s předem nastavenou upínací délkou  $l_0 = 200$  mm. Trhací stroj se spustí konstantní rychlostí zkoušení 100 mm/min, a zpětnou rychlostí 500 mm/min. Vzorek se prodlužuje až do doby první deformace – přetrhu. Po přetrhu se horní čelist vrátí do původní pozice a zkušební vzorek je odebrán a vložen nový.

Tento proces je zaznamenáván do softwaru, který naměřené hodnoty v závislosti použité síly na ose y a prodloužení na ose x zkušební vzorku zapisuje a vykresluje do křivek. Naměřená data se uloží do editorů a programu Excel, který následně znázorňuje naměřené hodnoty v pracovních nebo tahových křivkách, ve směru osy x a y. Přístroj zaznamenává, mimo jiné, hodnoty maximálního protažení, pevnosti vzorku, času do přetrhu, automatického Youngova modulu pružnosti, energie do přetrhu, a dalších. Dále, pracujeme pouze s průměrnou (střední) hodnotou, nejvyšší pevností a tažností ve směru osy y v grafech pro každý zkoušený vzorek. Tato data byla pak dále zpracována a vyhodnocována.

Nejprve byly prováděny zkoušky pevnosti tažnosti v různých směrech.



Graf 6 Tahové křivky do přetrhu.

Na grafu 6 jsou uvedené tahové křivky do přetrhu. Maximální tažnost má vzorek vystíhaný v diagonálním směru.

Tabulky průměrných hodnot prodloužení a síly do porušení materiálu, pro porovnání pevnosti a tažnosti jednotlivých vzorků tkaniny uvedené níže.

	Osnova	Útek	Diagonální
Tažnost [%]	11,6	13,4	37,9
Směrodatná odchylka[%]	0,53	0,38	1,19
Variační koeficient[%]	4,56	2,83	3,13
IS 95%	<11,17;12,06>	<13,08;13,72>	<36,96;38,92>
Minimum	11,05	13,00	36,69
Maximum	12,18	13,81	39,19

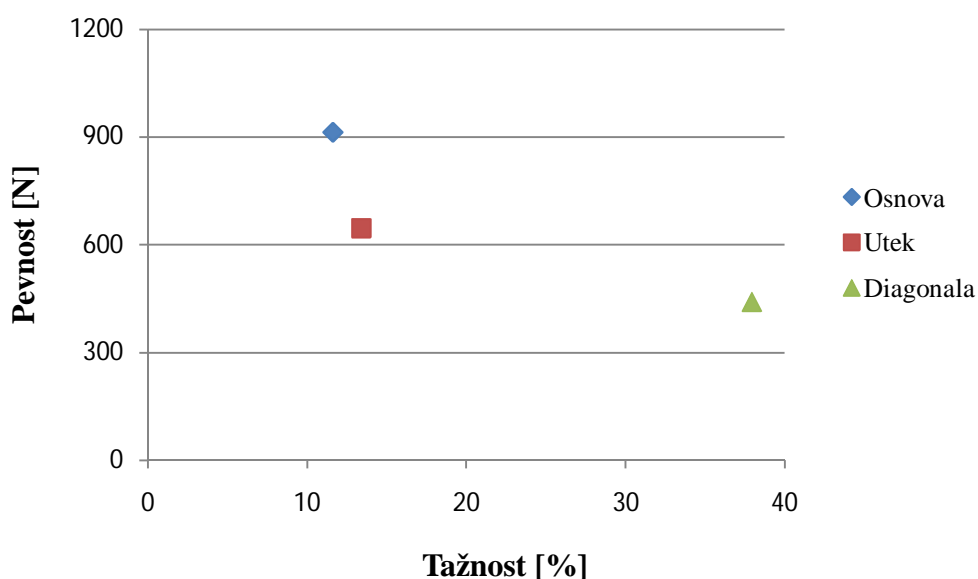
Tab. 6 Průměrné hodnoty tažnosti tkaniny a statistická charakteristika.

	Osnova	Útek	Diagonální
Pevnost [N]	912,2	441,5	646,3
Směrodatná odchylka[N]	31,25	23,97	82,93
Variační koeficient[%]	3,4	5,4	21,01
IS 95%	<887,24;938,65>	<421,75;461,20>	<578,09;714,54>
Minimum	880,15	416,32	559,28
Maximum	945,74	466,64	733,35

Tab. 7 Průměrné hodnoty pevnosti tkaniny a statistická charakteristika

Podle statisticky zpracovaných dat a vypočteného intervalu společnosti můžeme říct, že výsledky měření jsou statisticky významné.

Ve grafu č.7 je znázorněna tažnost a pevnost tkaniny v závislosti na směru namáhání.



Graf 7 Pevnost a tažnost tkaniny

Z grafu je vidět, že v diagonálním směru je tažnost podstatně větší, než pro směr osnovy a útku. U diagonálního směru dochází nejprve k vyrovnání nití do roviny namáhání, a proto je zaznamenán velký přírůstek tažnosti oproti jiným směrům namáhání.

Největší pevnost je naměřena pro tkaninu ve směru osnovy, což je způsobeno největším množstvím nití v místě přetrhu u tkanin s vyšší dostavou (čím větší dostava tkaniny, tím větší je naměřená pevnost). U směru osnovy, kdy je postupně zatěžovaná pouze osnova, vliv vnitřního tření mezi vlákny tkaniny se příliš neprojevil. Na pevnost tkaniny ve směru osnovy nemá dostava útku příliš velký vliv.

### **3.6. Výpočet hystereze tkaniny**

Celkem se zkoušelo 64 vzorků tkanin, to znamená, že z každého druhu tkaniny (klimatizovaný, suchý, mokrá) se vystříhlo 6 vzorků ve směru osnovy pod úhlem  $0^\circ$ , útku pod úhlem  $90^\circ$  a v diagonále pod úhlem  $45^\circ$ , o velikosti 200x50mm, které se dále klimatizovaly (relaxovaly) v prostorách klimatizační komory po dobu 24 hodin při teplotě  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  a vlhkosti vzduchu  $65 \pm 2\%$ .

Na stroji byly nastaveny vstupní parametry:

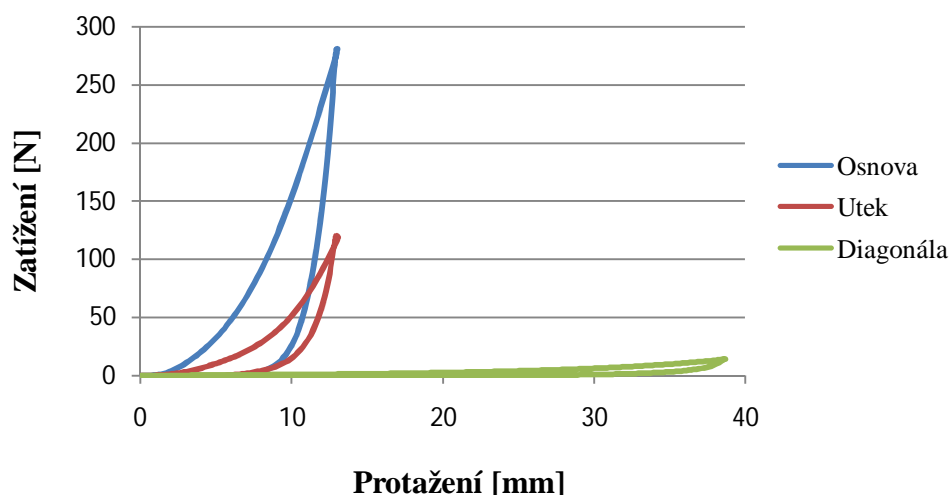
- snímací hlava 100 [N]
- rychlost 100 mm/min ( $1\text{ m s}^{-1}$ )
- interval snímání dat 50 ms ( $20\text{ s}^{-1}$ , maximum)
- upínací délka 200 mm (měřeno od okraje čelistí, skutečná cca o 5 mm větší)
- bez předpětí
- konec experimentu při poklesu  $F$  o 40 %.

Zvolené výstupní parametry:

- Energie při maximálním tahovém protažení [J]
- Energie při minimálním tahovém protažení [J]
- Zatížení v [N]

#### **3.6.1. Klimatizované vzorky**

Příklad křivek cyklické tahové deformace klimatizovaného vzorku tkaniny ve směru osnovy, útku a diagonály při délce cyklu 50 % tažnosti.



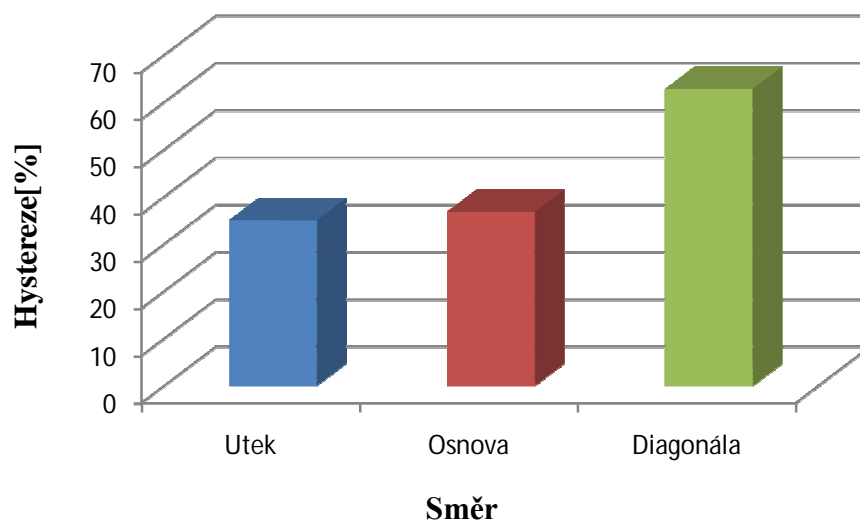
*Graf 8* Deformační křivky hystereze tkaniny v závislosti na směru zatěžování.

Z naměřených dat byli připravené křivky hystereze v závislosti na vlhkosti. Z grafu 8 je vidět, že největší protažení při minimálním zatížení můžeme pozorovat v diagonálním směru. Výsledné průměrné hodnoty hystereze z šesti měření pro každý směr jsou uvedeny tabulce 8.

	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]	Variační koeficient [%]	IS 95%
Osnova	36,9	14,68	39,78	<24,8;48,9>
Útek	35,1	9,93	28,28	<26,9;43,2>
Diagonální	62,9	6,18	9,87	<57,5;67,7>

*Tab. 8* Hystereze klimatizovaného vzorku tkaniny.

Pro vizualizaci vypočtených dat energetických ztrát nakreslil jsem graf 9, který znázorňuje závislost hystereze tkaniny podle směru namáhání. Z grafu 9 je vidět, že největší ztráty jsou v diagonálním směru, protože oproti ostatním směrem namáhání je zapotřebí ještě nejprve narovnat nitě do roviny namáhání.



*Graf 9* Závislost hystereze tkaniny na směru zatěžování.

V grafu 9 je vyjádření závislosti hystereze na směru namáhání. Hystereze dosahuje nejvyšších hodnot především ve směru diagonálním (45°). Naopak, nejnižších hodnot hystereze dosahuje ve směru osnovy a útku (0° a 90°). Zde se experiment shoduje s teoretickým předpokladem.

### 3.6.2. Suché vzorky

Pro měření hystereze usušených vzorku byl použit stejný druh tkaniny o 12tex, 100% CO. Nejprve vzorky klimatizovaly po dobu 24 hodin při teplotě  $20 \pm 2$  °C a vlhkosti vzduchu  $65 \pm 2$  % podle norem v klimatizační komoře, po klimatizaci vzorky byly změřeny na vahách s přesností  $10^{-4}$  g.

V další etapě měření byly vzorky sušeny v klimatizačním boxu na Katedře textilní chemie, při teplotě 105°C tak dlouho, až rozdíl hmotnosti materiálu mezi dvěma po sobě následujícími váženími nepřesáhl 0,01 % původní hmotnosti vzorku. Po vysušení vzorky opět byly zváženy na digitálních vahách. Naměřena data hmotnosti vzorku tkaniny pro klimatizovaný, suchý a mokrý jsou uvedeny v příloze č.5. Podle níže uvedené rovnice, z průměru hmotnosti pro klimatizovaný a suchý vzorek byla vypočítána relativní vlhkost suchého vzorku tkaniny, která je 2,74%.

$$r = \frac{m_k - m_u}{m_u} \cdot 100 [\%]$$

kde:

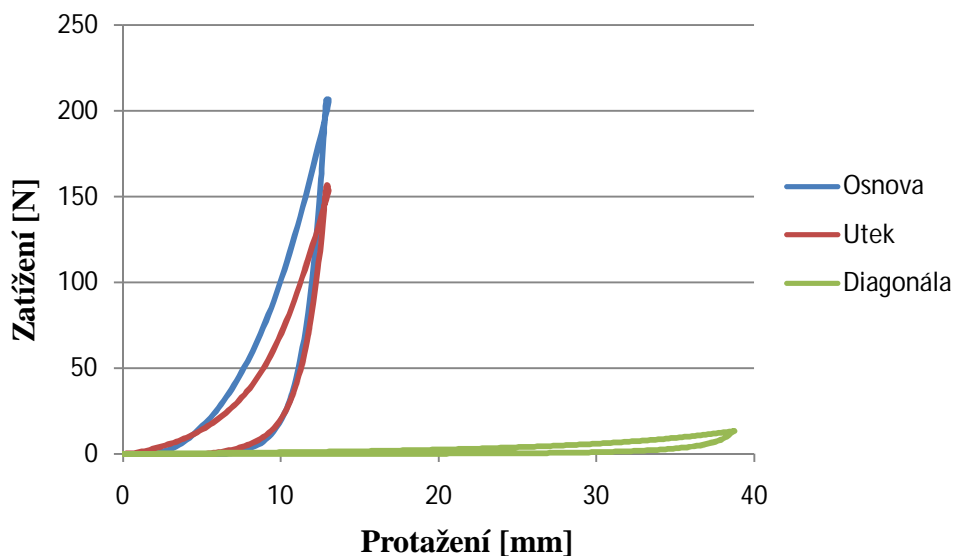
$r$  - relativní vlhkost tkaniny [ % ]

$m_k$  - hmotnost klimatizované tkaniny [ g ]

$m_u$  - hmotnost usušené tkaniny [ g ]

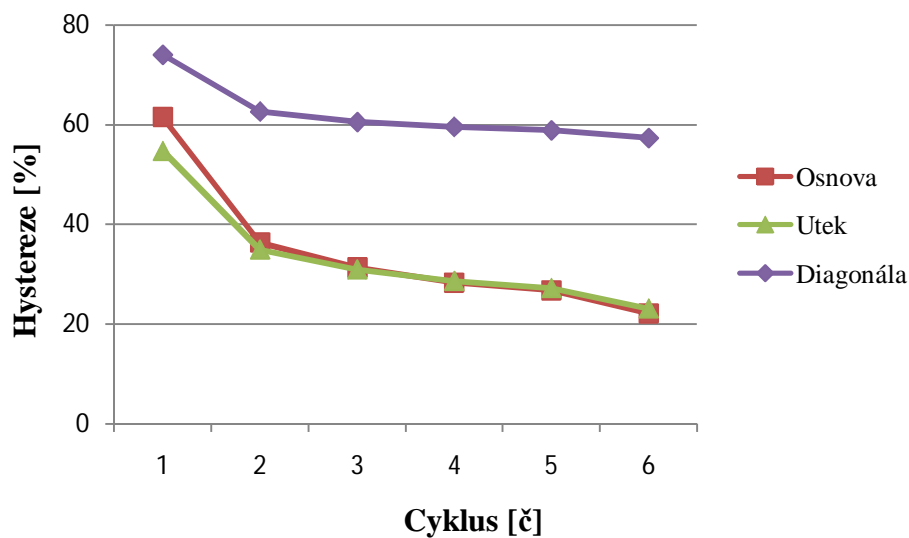
Po zvážení, vzorky byly přenášeny a uchovávány v malých vzduchotěsných nádobách, aby nemohly absorbovat vlhkost ze vzduchu. Měření na přístroji Instron 4411 jsem se snažil provést dostatečně rychlé a přesně, aby nedošlo k výrazným přírůstkům vlhkosti při proměřování.

Příklad křivek cyklické deformace vysušené experimentální tkaniny ve směru osnovy, útku a diagonály při délce cyklu 50 %.



Graf 10 Deformační křivky hystereze tkaniny v závislosti na směru zatěžování.

V grafu 10 je vyjádření závislosti hystereze na počtu cyklu namáhání. Hystereze dosahuje nejvyšších hodnot především ve směru diagonálním (45°). Naopak, nejnižších hodnot hystereze dosahuje ve směru osnovy a útku (0° a 90°). Zkouška potvrdila předpoklad, že zásadní vliv na hysterezi má počet cyklu namáhání tkaniny vzhledem ke zkosení úhlu mezi osnovou a útkem.

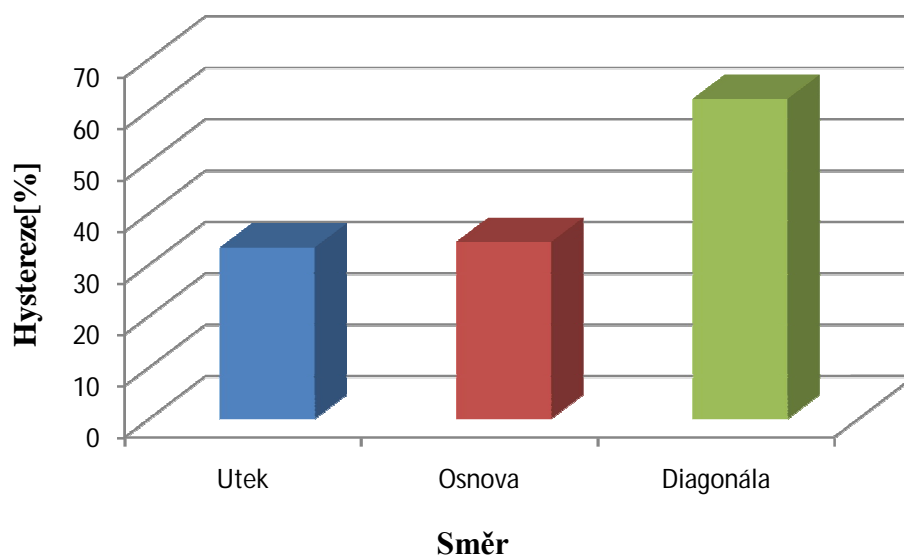


Graf 11 Závislost hystereze tkaniny na cyklu zatěžování

Výsledné průměrné hodnoty hystereze z šesti měření pro každý směr, uvedeny v tabulce 9.

	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]	Variační koeficient [%]	IS 95%
Osnova	34,4	14,088	40,94	<22,8;45,9>
Útek	33,3	11,23	33,73	<24,05;42,5>
Diagonální	62,2	6,05	9,73	<57,2;67,1>

Tab. 9 Naměřené hodnoty hystereze tkaniny



Graf 12 Závislost hystereze tkaniny na směru zatěžování.

U suché tkaniny můžeme pozorovat stejnou tendenci ztrát jak u klimatizovaného vzorku. Největší ztráty jsou v diagonálním směru.

### 3.6.3. Mokrý vzorky

Pro měření hystereze u mokrých vzorků byly textilie opět ponechány k aklimatizaci v prostorách klimatizační komory po dobu 24 hodin při teplotě  $20 \pm 2$  °C a vlhkosti vzduchu  $65 \pm 2$  % a potom byli zváženy na vahách.

Následné zavlhčování bylo prováděno v ploché nádobě. Voda byla zahřátá na teplotu 40 °C a byla použita se smáčedlem pro snížení povrchového napětí. Potom

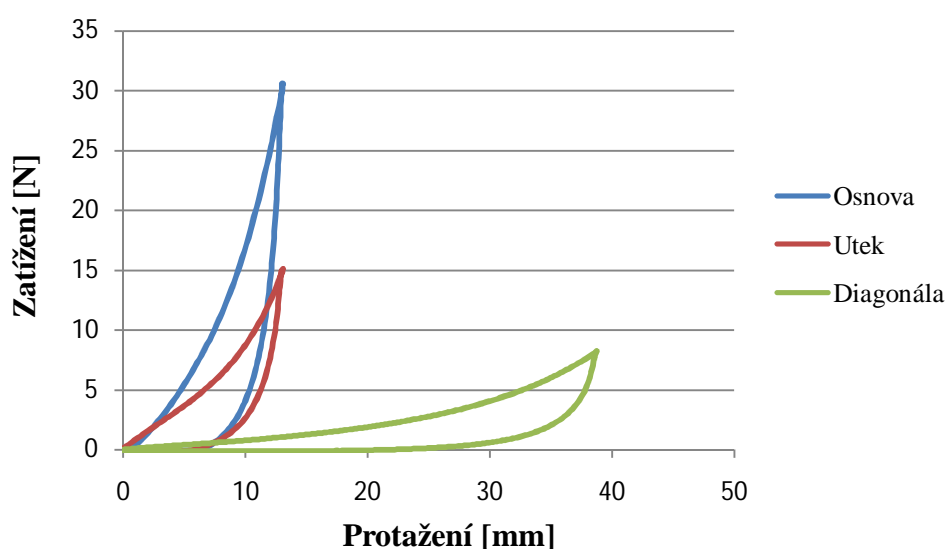


vzorky byly zavěšeny ve svisle poloze na 10 minut na odkapávání. Přívažek vlhkosti byl zjišťován po určité době, aby se vlhkost rovnoměrně rozložila po celé ploše vzorku. Hmotnostní přívažek byl ověřován na digitálních vahách. Textilie byly zavlhčovány jen do té míry, aby z nich neodkapávala voda, která by zůstávala na vahách a způsobila tak větší nepřesnosti ve výpočtech. Literatura uvádí, že textilie je absolutně mokrá a voda z ní odkapá až při 300% vlhkosti. Celkový přehled měřených vzorků je v příloze č. 5.

Z průměru hmotnosti vzorku tkaniny pro klimatizovaný a mokrý vzorek byla vypočítána relativní vlhkost mokrého vzorku, která je 144 %.

Vstupní parametry stroje a postup měření hystereze je stejný, jako v předchozích případech pro klimatizovaný a suchý vzorky tkaniny.

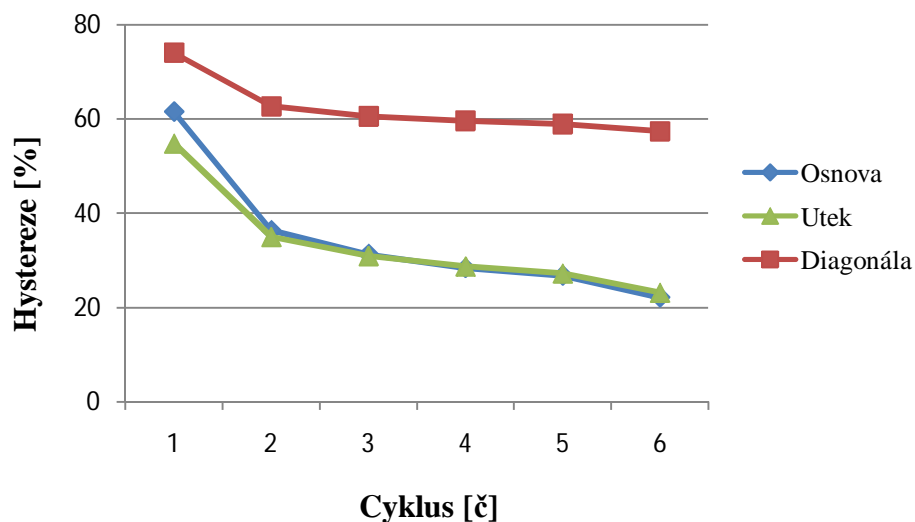
Příklad křivek cyklické deformace mokře experimentální tkaniny ve směru osnovy, útku a diagonály při délce cyklu 50 %.



Graf 13 Deformační křivky hystereze tkaniny v závislosti na směru zatěžování.

V grafu 13 je vyjádření závislosti hystereze na počtu cyklu namáhání. Hystereze dosahuje nejvyšších hodnot především ve směru diagonálním ( $45^\circ$ ). Naopak, nejnižších hodnot hystereze dosahuje ve směru osnovy a útku ( $0^\circ$  a  $90^\circ$ ).

Zkouška potvrdila předpoklad v kap. 3., že zásadní vliv na hysterezi má počet cyklu namáhání tkaniny, vzhledem ke zkosení úhlu mezi osnovou a útkem.



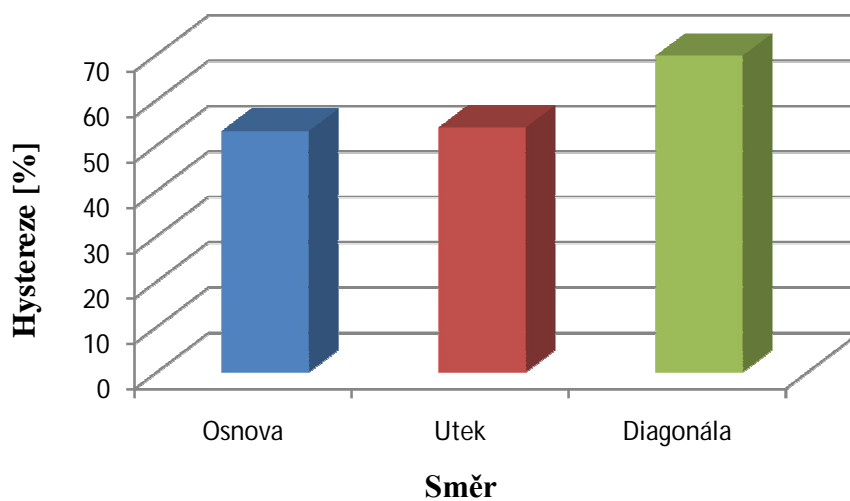
Graf 14 Závislost hystereze tkaniny na cyklu zatěžování

Výsledné průměrné hodnoty hystereze z šesti měření pro každý směr, uvedeny v tabulce 10.

	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]	Variační koeficient [%]	IS 95%
Osnova	53,1	7,77	14,63	<46,2;59,3>
Útek	53,9	7,36	13,66	<47,8;59,9>
Diagonální	69,7	4,05	5,81	<66,4;73,1>

Tab. 10. Naměřené hodnoty hystereze tkaniny

Podle vypočtených dat byl připraven graf 15, ze kterého je vidět, že největší energetické ztráty jsou v diagonálním směru namáhání.

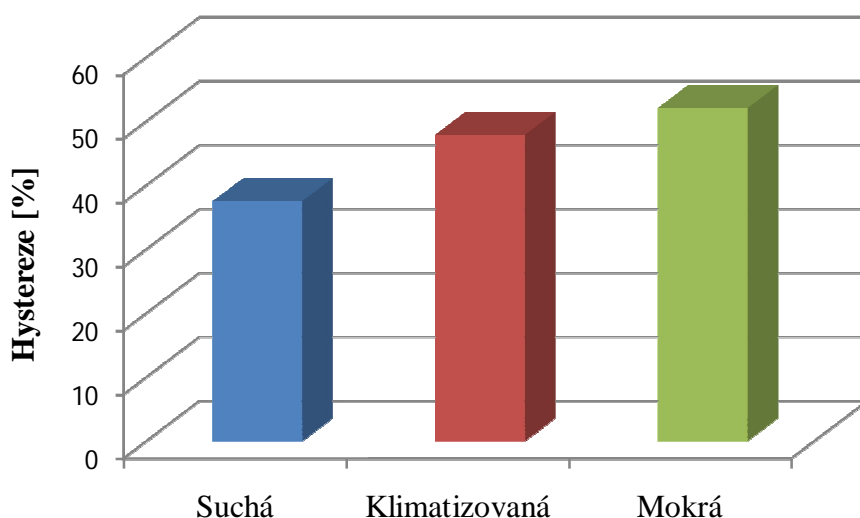


Graf 15 Závislost hystereze tkaniny na směru zatěžování.

### 3.7. Zpracování a vyhodnocení výsledku

#### PŘÍZE

Vlivem vlhkosti přírodní vlákna „vlačnejší“ mají vyšší deformační schopnosti. U mokře příze jsme pozorovali největší energetické ztráty při největší tažnosti vzorku. Na grafu 16 je vidět, že s rostoucí vlhkostí v zkušebním vzorku rostou energetické ztráty. V daném případě největší hystereze má mokrá příze.



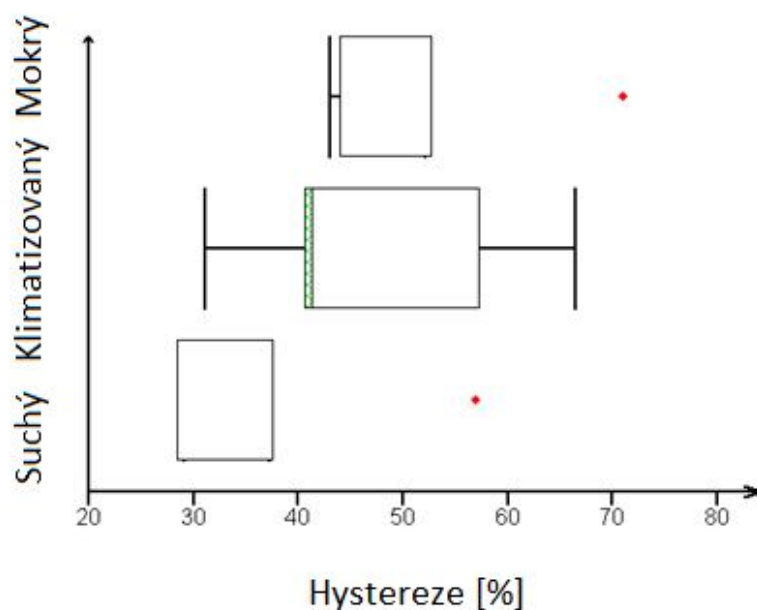
Graf 16 Hodnoty hystereze pro jednotlivé vzorky příze.

Průměrné hodnoty ukazují zřejmou nerovnoměrnost v hysterezi, ale neříkají nám nic o skutečném rozdělení vlivu vlhkosti v jednotlivých vzorcích.

Pro sumarizaci naměřených a spočítaných dat jsem využil krabicový graf, který umožňuje znázornění robustního odhadu polohy, mediánu apod.

Krabicový graf je vynikající nástroj pro vizualizaci rozložení dat ve zkoumaném vzorku. Tento graf dokáže jednoduchou vizuální formou vyjádřit i velmi složité vztahy ve zkoumaném vzorku.

Pro vizualizaci dat jsem vytvořil krabicový graf v programu QC EXPERT 3.2, který nám poskytuje informace o těchto důležitých veličinách: nejvyšší (maximální) hodnotě, nejnižší (minimální hodnotě), rozsah hodnot mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou, střední hodnotu skupiny dat.

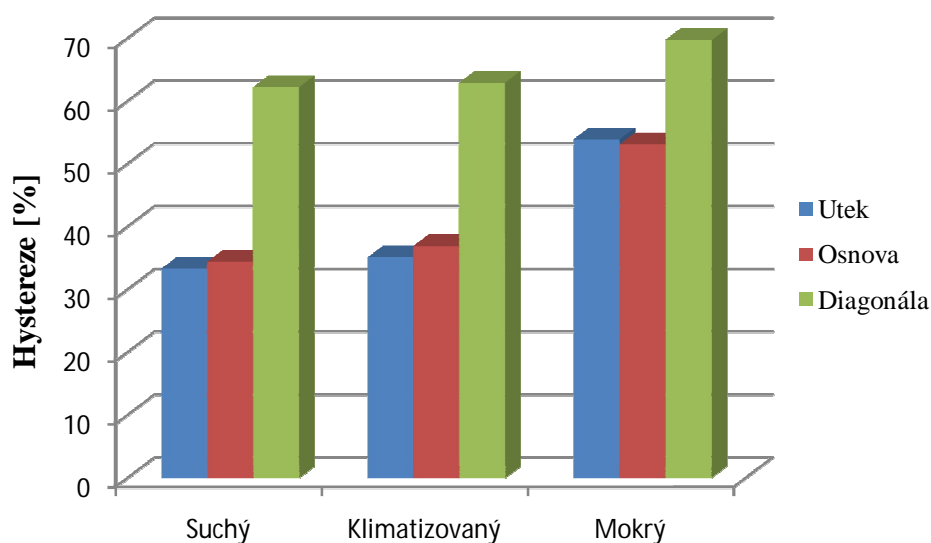


Obr. 10 Krabicový graf vlivu vlhkosti na hysterezi u vzorku příze

Z tvaru a poměru velikostí mezi obdélníkem, délkou a umístěním úseček lze velmi dobře odhadnout charakter rozdělení hodnot.

Zároveň, jsem při vytváření krabicového grafu nechal zobrazit extrémní hodnoty jako samostatné body.

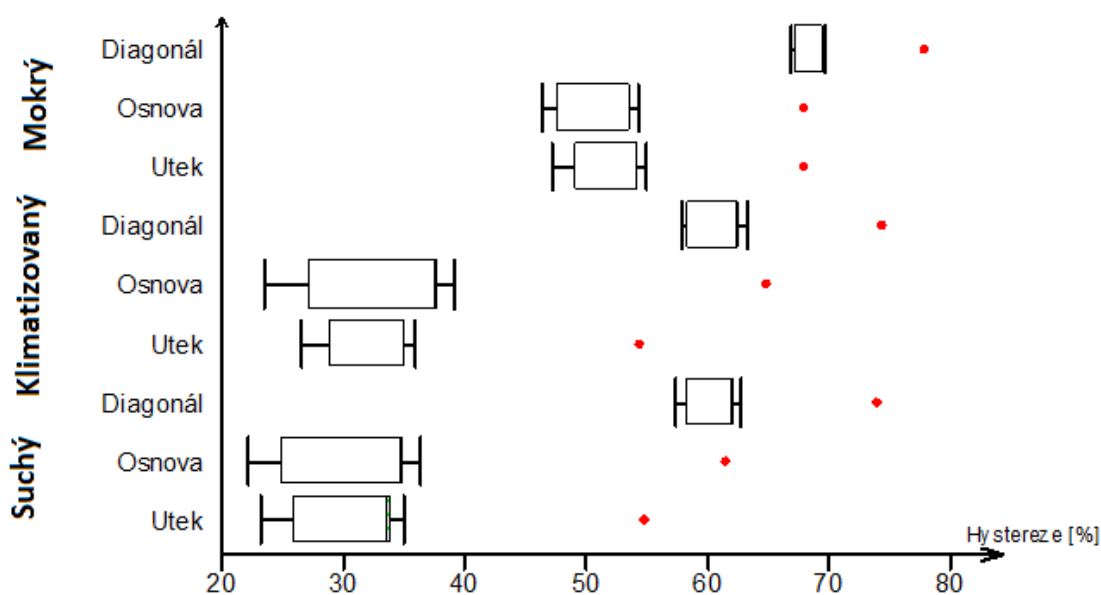
Z obrázku 10 je vidět, že intervaly spolehlivosti pro suchý-klimatizovaný a klimatizovaný-mokry vzorek se překrývají, proto můžeme říci, že data jsou statisticky nevýznamná. Ale opačný případ tvoří data pro suchý a mokry vzorek. Intervaly spolehlivosti pro mokry vzorek nepřekrývají se s intervalem spolehlivosti pro suchý vzorek. Proto můžeme říct, že jsou data statisticky významná.



Graf. 17 Hodnoty hystereze pro jednotlivé vzorky tkaniny

Z grafu 17 je lépe vidět, jaké jsou ztráty ve tkanině při jednotlivých vlhkostech. Z grafu je patrné, že čím je vlhkost větší, tím je i hystereze větší ve všech směrech namáhání, a zároveň, největších energetických ztrát dosahuje směr diagonály (45°). Nejmenší energetické ztráty má tkanina ve směru osnova (úhel 0°) a ve směru útku (úhel 90°). Zde se experiment shoduje s teoretickým předpokladem z kap. 3.

Pro vizualizaci dat jsem vytvořil krabicový graf, znázorněný na obrázku 11.



Obr. 11 Krabicový graf vlivu vlhkosti na hysterezi

Nyní se podívejme na graf zobrazený na obrázku 11 a pokusme se jej interpretovat. Energetické ztráty pro všechny vzorky jsou rozloženy ve škále hodnot – přibližně od 21% (minimum zobrazené začátkem úsečky vlevo od obdélníka) až po přibližně 80% (maximum zobrazené koncem úsečky vpravo od obdélníka).

Při vytváření krabicového grafu jsem jsi nechal zobrazit extrémní hodnoty jako samostatné body, aby nedošlo k omylnému vyhodnocení. V našem případě můžeme říci, že energetické ztráty jsou rovnoměrně rozloženy v celém rozpětí pro suchý a klimatizovaný vzorek, a jak je vidět z obrázku 11 – překrývají se. Z toho to můžeme říct, že data jsou statisticky nevýznamná. Ale opačný případ tvoří data pro mokrý vzorek. Intervaly spolehlivosti pro mokry vzorek ve všech směrech nepřekrývají se s intervalem spolehlivosti pro suchý a klimatizovaný vzorek. Proto můžeme říct, že jsou data statisticky významná.

## **Závěr:**

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv vlhkosti, na energetické přeměny textilií při jejich cyklické tahové deformaci.

Práce se skládá z dvou hlavních částí: z teoretické a experimentální. V teoretické části byly charakterizovaný vlivy strukturních parametrů příze a tkaniny a jejich mechanických vlastností na deformační chování.

V experimentální části bylo středem zájmu měření hodnot pevnosti, tažnosti a hystereze v závislosti na vlhkosti vzorku u příze 100 % bavlny česané a tkaniny v atlasové vazbě.

Naměřené hodnoty hystereze příze a tkaniny byly zpracovány a porovnány. Při zatížení tkaniny ve třech směrech ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  stupňů) při různých vlhkostech.

Hystereze příze byla sledovaná v závislosti na obsahu vlhkosti ve vlákne. Výsledky tohoto měření ukázaly, že se změnou vlhkosti ve vlákne mění se energetické ztráty při cyklické deformaci. Nejmenší hystereze (energetické ztráty) byla změřena pro suchý vzorek příze, největší hystereze byla změřena pro mokré vzorek příze, důvodem je sorpční schopnost vláken, která dána jejich molekulární strukturou, resp. četností hydrofilních skupin, na které se vážou molekuly vody. Současně s vnikem vody do vlákna amorfní segmenty se od sebe oddalují, zaujímají větší objem a mění geometrii vlákna - vlákno bobtná, tj. zvětšuje objem, resp. plochu průřezu, a mění mechanické vlastnosti.

Hystereze tkaniny byla sledovaná při zatížení ve třech směrech ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  stupňů) při různém obsahu vlhkosti. Výsledky tohoto měření ukázaly, že právě směr zatěžování má vliv na energetické ztráty. Ve směru diagonály, tedy v úhlu  $45^\circ$  stupňů, byla změřena největší hystereze (energetické ztráty), pro všechny vzorky (klimatizovaný, suchý a mokré), důvodem byla změna sklonu osnovních a útkových nití, doprovázena třením ve vazných bodech a tyto výsledky teorii v kapitole 2.

Největší hystereze (energetické ztráty), byly naměřeny pro mokré vzorky tkaniny pro vše směry zatěžování (osnova, útek, diagonála). Naměřené výsledky jsou v souladu s teorií, podle našich očekávání.

## Seznam odborné literatury

- [1] Hladík, V., Kozel, T., Miklas, Z.: Textilní materiály, SNTL Praha 1997
- [2] Horák Z., Krupka F., Šindelář V.: Technická fyzika 1960
- [3] Morton, W.E., Hearle, J.W.S: Physical properties of Textile Fibers, The Textile institut, Manchester, 1975.
- [4] Chrpová E.: Technologie tkaní, TU Liberec 2006
- [5] KOVÁŘ R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií, skripta, Liberec 2003.
- [6] PITUCHA, T: Anizotropie deformace tkanin, diplomová práce, Liberec 2004
- [7] HEARLE, J. W. S. - GROESBERG, P - BACKER, S.: Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics.Vol. 1. New York, London, Sydney, Toronto 1969
- [8] KOVÁŘ, R.: Tažnost tkaniny. Seminář STRUTEX, Liberec 2001.
- [9] Hladík, a kolektiv.: Textilní vlákna, SNTL Praha 1970
- [10] KOVÁŘ, R.:Vnitřní tření textilií. Seminář STRUTEX, Liberec 1997
- [11] Anizotropie, [cit. 3-2-2011]. Dostupné z:  
<http://345.vsb.cz/jirihruby/Texty/11Anizotrop.pdf>
- [12] KOVÁŘ R.. Směrová pevnost tkaniny. Seminář STRUTEX, Liberec 2001.
- [13] Neckář B., Kavan P.: Přehled vlastností textilií z hlediska jejich fyzikální podstaty SVUT Liberec 1981
- [14] STANEK, J.:Nauka o textilních materiálech. Vlastnosti vláken, Liberec 1986
- [15] Statistický program QC. Expert 3.2, nápověda, CD.
- [16] Militký., J.:Textilní. vlákna. TU v Liberci, 2002
- [17] Milan, M., Militký, J.: Statistická analýza experimentálních dat, ACADEMIA 2004
- [18] Milan, M., Militký, J.: Kompendium statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy včetně CD. ACADEMIA 2002



## PŘÍLOHY

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Pevnost a tažnost příze

Příloha č. 2: Pevnost a tažnost tkaniny

Příloha č. 3: Hystereze příze

Příloha č. 4: Hystereze tkaniny

Příloha č. 5: Naměřena hmotnost a spočítaná vlhkost vzorku tkaniny

Příloha č. 1: Pevnost a tažnost příze

Klimatizovaný vzorek příze: 100% bavlna česaná 12 tex

Měření	Maximální protažení (mm)	Maximální zatížení (N)	Youngův modul pružnosti (gf/tex)	Maximální energie tahové napětí (J)	Čas tahové napětí (sec)
1	29,45	1,91	390,02	0,04	17,55
2	24,71	1,90	554,53	0,03	14,65
3	27,54	2,06	428,86	0,03	16,50
4	28,54	1,96	331,52	0,03	17,05
5	26,04	2,20	484,49	0,03	15,50
6	29,96	2,31	390,01	0,04	17,95
7	27,54	2,24	435,26	0,03	16,45
8	26,79	2,00	419,78	0,03	15,85
9	29,22	2,18	366,68	0,03	17,45
10	30,04	2,35	378,99	0,04	18,00
11	27,71	2,10	399,67	0,03	16,60
12	27,12	2,02	376,63	0,03	16,25
13	27,38	2,23	417,07	0,03	16,35
14	30,05	2,16	324,47	0,03	17,95
15	28,04	2,09	427,66	0,03	16,80
16	30,21	2,30	379,80	0,04	18,05
17	29,13	2,12	372,37	0,03	17,45
18	23,88	1,80	371,23	0,02	14,30
19	29,20	2,18	396,73	0,03	17,45
20	23,63	1,75	434,45	0,02	14,10
21	25,71	2,12	425,05	0,03	15,35
22	26,88	1,91	381,41	0,03	16,10
23	32,38	2,35	333,20	0,04	19,40
24	24,47	1,89	415,83	0,02	14,60
25	32,88	2,17	320,25	0,03	19,60
26	28,54	1,99	368,59	0,03	17,10
27	24,96	1,78	401,49	0,02	14,90
28	30,71	1,88	277,88	0,03	18,40
29	31,79	2,28	332,64	0,04	19,00
30	28,21	2,16	391,09	0,03	16,85
31	27,55	1,90	338,22	0,03	16,45
32	25,88	2,02	402,77	0,03	15,40
33	30,55	1,91	347,11	0,03	18,30
34	25,72	1,70	337,08	0,02	15,35
35	30,71	1,85	362,84	0,03	18,30
36	27,70	1,95	332,27	0,03	16,55
37	26,55	2,09	371,20	0,03	15,85
38	32,79	2,25	328,57	0,03	19,65
39	27,79	1,76	323,01	0,03	16,60
40	30,63	2,05	342,95	0,03	18,35
41	28,71	1,88	386,53	0,03	17,15
42	30,04	2,05	349,81	0,03	18,00
43	28,87	1,89	387,79	0,03	17,25
44	29,05	2,02	333,04	0,03	17,40
45	31,38	1,99	352,78	0,03	18,75
46	30,72	1,94	347,56	0,04	18,35
47	28,80	1,98	345,93	0,03	17,20
48	32,54	1,84	342,83	0,04	19,50
49	28,96	1,82	374,64	0,03	17,35
50	30,79	1,82	395,38	0,04	18,40
51	31,46	1,81	384,99	0,04	18,60
52	33,38	1,91	381,04	0,04	19,90
53	32,71	1,93	356,43	0,04	19,60
54	28,55	1,84	353,95	0,03	17,10
55	27,71	1,85	329,34	0,03	16,55
<b>Průměr</b>	<b>28,77</b>	<b>2,01</b>	<b>375,20</b>	<b>0,03</b>	<b>17,19</b>

## Suchý vzorek příze: 100% bavlna česaná 12 tex

Měření	Maximální protažení (mm)	Maximální zatížení (N)	Youngův modul pružnosti (gf/tex)	Maximální energie tahové napětí (J)	Čas tahové napětí (sec)
1	20,22	2,03	498,95	0,02	12,05
2	19,38	1,76	442,96	0,02	11,55
3	19,96	1,71	409,76	0,02	11,95
4	21,05	1,89	432,55	0,02	12,60
5	21,88	1,98	438,93	0,02	13,10
6	21,22	1,69	392,92	0,02	12,70
7	22,21	1,82	416,71	0,02	13,25
8	21,89	1,86	370,50	0,02	13,70
9	22,04	1,81	452,68	0,02	13,20
10	22,37	1,99	435,31	0,02	13,95
11	20,54	1,86	608,11	0,02	12,25
12	20,13	1,71	463,31	0,02	12,00
13	22,21	1,77	436,99	0,02	13,20
14	21,38	1,71	403,18	0,02	12,75
15	20,79	1,73	481,18	0,02	12,45
16	22,29	1,78	412,46	0,02	13,35
17	22,13	1,69	409,19	0,02	13,25
18	20,72	1,58	392,51	0,02	12,30
19	21,04	1,67	437,91	0,02	12,55
20	22,63	1,69	439,51	0,02	13,50
21	22,38	1,69	393,09	0,02	13,35
22	22,29	1,80	441,17	0,02	13,20
23	21,45	1,69	431,41	0,02	12,70
24	19,38	1,65	485,42	0,02	11,55
25	21,05	1,50	494,18	0,02	12,55
26	22,04	1,67	438,37	0,02	13,20
27	19,71	1,65	593,59	0,02	11,65
28	21,46	1,93	548,35	0,02	12,80
29	22,96	1,78	441,93	0,02	13,75
30	21,55	1,70	469,60	0,02	12,85
31	19,87	1,70	602,88	0,02	11,90
32	22,79	1,81	470,03	0,02	13,55
33	21,29	1,79	478,13	0,02	12,70
34	20,89	1,77	505,26	0,02	12,50
35	21,80	1,80	592,73	0,02	13,00
36	22,55	1,75	509,83	0,02	13,45
37	20,29	1,83	582,71	0,02	12,10
38	20,05	1,88	556,56	0,02	12,00
39	20,13	1,45	395,13	0,02	12,05
40	20,71	1,91	672,20	0,02	12,35
41	21,72	1,78	529,99	0,02	13,00
42	22,13	1,89	555,55	0,02	13,80
43	19,80	1,68	478,01	0,02	11,85
44	22,30	1,86	528,96	0,02	13,25
45	20,38	1,65	485,56	0,02	12,10
46	21,38	1,66	412,47	0,02	12,80
47	21,80	1,81	515,00	0,02	12,95
48	20,79	1,71	463,91	0,02	12,45
49	21,04	1,66	375,27	0,02	13,75
50	21,97	1,82	444,93	0,02	13,75
<b>Průměr</b>	<b>21,28</b>	<b>1,76</b>	<b>473,36</b>	<b>0,02</b>	<b>12,77</b>

Mokrý vzorek příze: 100% bavlna česaná 12 tex

Měření	Maximální protažení (mm)	Maximální zatížení (N)	Youngův modul pružnosti (gf/tex)	Maximální energie tahové napětí (J)	Čas tahové napětí (sec)
1	38,21	2,10	395,84	0,03	22,85
2	38,54	1,92	365,31	0,03	23,10
3	42,05	1,94	346,11	0,03	25,20
4	42,70	2,24	379,09	0,04	25,55
5	34,46	2,23	419,93	0,03	20,60
6	37,54	1,96	353,19	0,03	22,50
7	43,29	2,21	419,86	0,03	25,95
8	40,80	1,90	355,93	0,03	24,40
9	40,11	2,04	381,80	0,03	24,05
10	42,71	2,08	392,17	0,03	25,60
11	33,29	2,13	377,40	0,03	19,95
12	44,62	2,21	390,24	0,03	26,70
13	44,30	2,16	384,95	0,03	26,55
14	51,62	2,79	451,93	0,05	30,95
15	38,54	1,86	349,34	0,03	23,10
16	40,54	1,85	344,00	0,03	24,25
17	40,30	1,83	351,58	0,03	24,10
18	43,95	2,25	405,90	0,03	26,30
19	43,79	2,35	397,13	0,04	26,25
20	36,38	1,77	329,45	0,02	21,75
21	39,55	2,11	320,00	0,03	23,60
22	41,29	2,01	388,66	0,03	24,75
23	44,05	2,12	372,28	0,03	26,40
24	42,63	1,90	333,98	0,03	25,55
25	47,88	2,48	405,24	0,04	28,65
26	48,21	2,41	403,96	0,04	28,85
27	40,13	2,26	397,59	0,03	24,00
28	38,71	2,14	360,53	0,03	23,20
29	44,71	2,52	409,31	0,04	26,75
30	35,47	2,16	365,64	0,03	21,25
31	39,63	2,33	353,23	0,04	23,65
32	42,29	2,41	349,27	0,04	25,35
33	39,96	2,00	310,68	0,03	23,80
34	38,54	2,36	366,31	0,04	23,05
35	47,88	2,26	331,74	0,04	28,70
36	38,13	1,94	309,87	0,03	22,80
37	44,21	2,31	336,25	0,04	26,45
38	41,63	2,29	338,89	0,04	24,95
39	35,96	1,87	306,88	0,03	21,55
40	36,71	2,11	321,56	0,03	21,90
41	44,38	2,45	349,42	0,04	26,60
42	40,71	2,13	315,82	0,04	24,30
43	37,62	2,11	329,65	0,03	22,40
44	38,80	2,00	305,45	0,03	23,25
45	42,87	2,26	319,05	0,04	25,55
46	41,46	2,35	345,06	0,04	24,85
47	40,63	1,88	284,47	0,03	24,30
48	32,87	1,88	311,36	0,03	19,70
49	42,79	2,28	331,61	0,04	25,65
50	38,63	2,10	317,26	0,03	23,10
<b>Průměr</b>	<b>40,92</b>	<b>2,15</b>	<b>357,64</b>	<b>0,03</b>	<b>24,49</b>

Příloha č. 2: Pevnost a tažnost tkaniny

Tkaniny od firmy VEBA – damašek Apollo 44

Parametry tkaniny: Do 660, Du 400 nití na 100 mm; Osnova – ba česaná MII 12 tex,  
útek ba česaná AI 12 tex; Vazba Atlas ¼

Zatížení ve směru osnova

Úhel namáhání 0 stupňů			
Měření	Pevnost	Tažnost	Energie
	[N]	[mm]	[J]
1	937,2	23,45	6,46
2	910,3	21,79	6,05
3	961,7	24,60	6,33
4	898,0	22,42	5,93
5	894,0	24,26	5,86
6	876,5	22,93	5,54
<b>Průměr</b>	912,9	23,24	6,03
<b>Sm.Odch.</b>	31,3	1,08	0,33
<b>CV [%]</b>	3,4	4,64	5,52

Zatížení ve směru útek

Úhel namáhání 90 stupňů			
Měření	Pevnost	Tažnost	Energie
	[N]	[mm]	[J]
1	437,4	26,79	2,42
2	472,9	25,79	2,64
3	466,7	27,42	2,6
4	438,1	26,62	2,28
5	414,2	26,29	2,28
6	419,6	27,96	2,32
<b>Průměr</b>	441,5	26,81	2,42
<b>Sm.Odch.</b>	24,0	0,78	0,16
<b>CV [%]</b>	5,4	2,91	6,65

Zatížení ve směru diagonála

Úhel namáhání 45 stupňů			
Měření	Pevnost	Tažnost	Energie
	[N]	[mm]	[J]
1	510,1	77,46	8,16
2	595,2	73,24	7,43
3	658,0	75,44	8,72
4	672,8	75,26	9,19
5	695,8	79,78	10,07
6	746,0	74,12	9,78
<b>Průměr</b>	646,3	75,88	8,89
<b>Sm.Odch.</b>	83,0	2,38	1,00
<b>CV [%]</b>	12,8	3,14	11,21

Příloha č. 3: Hystereze příze.

Naměřené hodnoty pro suchý vzorek příze.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,0112	0,0049	1,4657	0,0075	0,0047	1,4228	0,0069	0,0046	1,4013	0,0066	0,0046	1,3879	0,0063	0,0045	1,3798
2	0,0105	0,0042	1,3181	0,0066	0,0040	1,2697	0,0060	0,0039	1,2483	0,0057	0,0039	1,2375	0,0055	0,0038	1,2268
3	0,0120	0,0051	1,5328	0,0078	0,0049	1,4818	0,0071	0,0047	1,4576	0,0068	0,0047	1,4469	0,0066	0,0047	1,438
4	0,0093	0,0042	1,2993	0,0063	0,0040	1,2456	0,0058	0,0039	1,2214	0,0055	0,0039	1,2026	0,0053	0,003	1,1892
5	0,0109	0,0047	1,404	0,0072	0,0045	1,3503	0,0066	0,0044	1,3315	0,0063	0,0043	1,3154	0,0060	0,0042	1,2993
6	0,0108	0,0045	1,3825	0,0070	0,0043	1,3395	0,0064	0,0042	1,3127	0,0061	0,0042	1,2993	0,0058	0,0041	1,2858
Průměr	0,0108	0,0046	1,4004	0,0071	0,0044	1,3516	0,0065	0,0043	1,3288	0,0061	0,0042	1,3149	0,0059	0,0042	1,3033
Smerod.odch	0,0009	0,0003	0,0885	0,0006	0,0003	0,0896	0,0005	0,0003	0,0896	0,0005	0,0003	0,0912	0,0005	0,0004	0,0932
CV[%]	8,3831	7,3030	6,3179	7,8034	7,6011	6,6263	7,7753	7,6438	6,7426	7,9765	8,0217	6,9359	8,2325	8,3697	7,1503
<b>Hystereze[%]</b>	<b>57,01</b>			<b>37,3</b>			<b>33,1</b>			<b>30,7</b>			<b>29,1</b>		

Naměřené hodnoty pro klimatizovaný vzorek příze.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,0050	0,0017	0,5154	0,0029	0,0014	0,4993	0,0024	0,0012	0,5101	0,0022	0,0012	0,5423	0,0019	0,0012	0,5530
2	0,0054	0,0017	0,5691	0,0031	0,0015	0,5879	0,0026	0,0014	0,6148	0,0022	0,0014	0,6228	0,0020	0,0014	0,6148
3	0,0059	0,0020	0,6067	0,0033	0,0017	0,5825	0,0028	0,0014	0,5799	0,0026	0,0014	0,6094	0,0022	0,0014	0,6174
4	0,0088	0,0030	0,8510	0,0051	0,0025	0,8403	0,0043	0,0021	0,8617	0,0037	0,0020	0,8939	0,0030	0,0020	0,8859
5	0,0067	0,0022	0,6604	0,0038	0,0017	0,6711	0,0033	0,0017	0,7195	0,0027	0,0017	0,7275	0,0024	0,0017	0,7141
6	0,0063	0,0021	0,6309	0,0036	0,0017	0,6389	0,0033	0,0016	0,6980	0,0027	0,0017	0,7168	0,0023	0,0017	0,7087
Průměr	0,0064	0,0021	0,6389	0,0036	0,0017	0,6367	0,0031	0,0016	0,6640	0,0026	0,0016	0,6854	0,0023	0,0016	0,6823
Smerod.odch	0,0014	0,0005	0,1155	0,0008	0,0004	0,1156	0,0007	0,0003	0,1237	0,0005	0,0003	0,1236	0,0004	0,0003	0,1172
CV[%]	21,350	22,763	18,072	21,968	22,614	18,155	21,391	18,689	18,633	20,285	19,715	18,037	17,137	18,190	17,172
<b>Hystereze[%]</b>	<b>66,5</b>			<b>52,0</b>			<b>49,3</b>			<b>40,6</b>			<b>31,1</b>		



Naměřené hodnoty pro mokrý vzorek příze.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,0066	0,0019	1,0899	0,0036	0,0018	1,0470	0,0032	0,0017	1,0228	0,0029	0,0016	1,0067	0,0027	0,0016	0,9906
2	0,0052	0,0015	0,9691	0,0030	0,0014	0,9262	0,0026	0,0013	0,9101	0,0023	0,0013	0,8859	0,0022	0,0013	0,8832
3	0,0056	0,0016	0,9691	0,0030	0,0014	0,9181	0,0026	0,0014	0,9020	0,0025	0,0014	0,9101	0,0024	0,0014	0,8966
4	0,0062	0,0018	1,0389	0,0034	0,0017	0,9960	0,0030	0,0016	0,9745	0,0028	0,0015	0,9584	0,0026	0,0015	0,9530
5	0,0057	0,0017	0,9825	0,0031	0,0015	0,9262	0,0028	0,0015	0,9208	0,0026	0,0014	0,9101	0,0025	0,0014	0,8993
6	0,0048	0,0013	0,8913	0,0027	0,0012	0,8403	0,0023	0,0011	0,8242	0,0021	0,0011	0,8161	0,0021	0,0011	0,8268
Průměr	0,0057	0,0016	0,9901	0,0031	0,0015	0,9423	0,0028	0,0014	0,9257	0,0025	0,0014	0,9145	0,0024	0,0014	0,9083
Smerod.odch	0,0007	0,0002	0,0679	0,0004	0,0002	0,0712	0,0003	0,0002	0,0678	0,0003	0,0002	0,0648	0,0002	0,0002	0,0570
CV[%]	11,454	12,905	6,8577	11,230	14,487	7,5573	11,255	14,698	7,3188	11,236	14,077	7,0808	9,8043	12,392	6,2774
<b>Hystereze[%]</b>	<b>71,0</b>			<b>52,2</b>			<b>48,4</b>			<b>45,9</b>			<b>43,0</b>		

Příloha č. 4: Hystereze tkaniny.

Naměřené hodnoty pro klimatizovaný vzorek tkaniny ve směru osnovy.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,755	-0,280	210,20	0,419	-0,260	193,02	0,381	-0,255	189,12	0,369	-0,258	188,85	0,354	-0,253	186,30
2	0,662	-0,255	190,53	0,369	-0,235	174,29	0,342	-0,234	172,95	0,296	-0,215	160,00	0,300	-0,223	164,09
3	0,722	-0,289	207,18	0,405	-0,265	188,65	0,366	-0,259	183,62	0,341	-0,250	178,25	0,335	-0,249	179,14
4	0,542	-0,221	169,79	0,320	-0,205	155,70	0,284	-0,196	148,85	0,269	-0,194	147,11	0,263	-0,193	146,44
5	0,551	-0,217	170,00	0,320	-0,204	155,83	0,296	-0,202	154,22	0,278	-0,198	151,14	0,266	-0,195	148,59
6	0,757	-0,273	209,32	0,403	-0,253	189,46	0,360	-0,247	183,75	0,364	-0,259	189,93	0,342	-0,249	184,56
Průměr	0,665	-0,256	192,84	0,373	-0,237	176,16	0,338	-0,232	172,09	0,320	-0,229	169,21	0,310	-0,227	168,19
Smerod.odch	0,098	0,031	19,167	0,044	0,027	17,043	0,040	0,027	16,846	0,044	0,030	18,957	0,040	0,028	17,840
CV[%]	14,729	-12,074	9,939	11,811	-11,464	9,674	11,688	-11,684	9,789	13,755	-13,119	11,203	12,741	-12,317	10,607
<b>Hystereze[%]</b>	61,505			36,349			31,314			28,353			26,763		

Naměřené hodnoty pro klimatizovaný vzorek tkaniny ve směru útku.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,363	-0,163	108,45	0,241	-0,154	99,543	0,231	-0,153	100,32	0,222	-0,149	99,114	0,216	-0,149	98,389
2	0,373	-0,171	115,03	0,252	-0,161	106,04	0,246	-0,166	108,12	0,224	-0,154	102,48	0,228	-0,161	105,43
3	0,321	-0,150	101,00	0,229	-0,149	96,188	0,217	-0,147	95,678	0,197	-0,136	89,691	0,201	-0,140	92,859
4	0,222	-0,112	71,866	0,155	-0,103	65,181	0,157	-0,107	68,188	0,143	-0,100	64,134	0,139	-0,098	63,382
5	0,299	-0,144	95,597	0,212	-0,139	89,637	0,203	-0,138	89,772	0,197	-0,138	89,664	0,191	-0,136	88,456
6	0,606	-0,255	166,91	0,392	-0,244	156,57	0,353	-0,235	151,00	0,337	-0,230	148,92	0,330	-0,230	148,92
Průměr	0,3640	-0,1660	109,81	0,2469	-0,1582	102,19	0,2347	-0,1577	102,18	0,2200	-0,1515	99,002	0,2174	-0,1523	99,574
Smerod.odch	0,1305	0,0482	31,651	0,0788	0,0468	30,143	0,0656	0,0429	27,475	0,0641	0,0430	27,907	0,0629	0,0437	28,106
CV[%]	35,9	-29,1	28,8	31,9	-29,6	29,5	28,0	-27,2	26,9	29,1	-28,4	28,2	29,0	-28,7	28,2
<b>Hystereze[%]</b>	54,4			35,9			32,8			31,2			29,9		

Naměřené hodnoty pro klimatizovaný vzorek tkaniny ve směru diagonála.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,132	-0,034	12,725	0,087	-0,032	12,201	0,080	-0,031	12,013	0,077	-0,031	11,906	0,075	-0,030	11,812
2	0,178	-0,044	17,396	0,111	-0,041	16,550	0,101	-0,040	16,161	0,096	-0,039	15,866	0,092	-0,038	15,664
3	0,120	-0,031	11,409	0,079	-0,029	10,899	0,073	-0,028	10,671	0,071	-0,028	10,698	0,067	-0,027	10,336
4	0,176	-0,044	17,248	0,111	-0,042	16,644	0,101	-0,040	16,161	0,096	-0,040	16,013	0,092	-0,039	15,678
5	0,144	-0,036	13,705	0,091	-0,033	12,886	0,085	-0,033	12,832	0,081	-0,033	12,711	0,077	-0,032	12,470
6	0,109	-0,028	10,362	0,074	-0,027	10,054	0,068	-0,026	9,866	0,063	-0,025	9,517	0,062	-0,025	9,503
Průměr	0,1432	-0,0362	13,807	0,0923	-0,0339	13,205	0,0846	-0,0331	12,950	0,0807	-0,0324	12,785	0,0776	-0,0316	12,577
Smerod.odch	0,0286	0,0066	2,9502	0,0159	0,0063	2,8063	0,0140	0,0059	2,6914	0,0133	0,0059	2,6731	0,0126	0,0057	2,6159
CV[%]	19,9	-18,1	21,4	17,2	-18,4	21,3	16,5	-17,9	20,8	16,5	-18,3	20,9	16,2	-18,1	20,8
<b>Hystereze[%]</b>	74,7			63,2			60,9			59,8			59,2		

Naměřené hodnoty pro suchý vzorek tkaniny ve směru osnovy.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,7549	-0,2805	210,20	0,4187	-0,2603	193,01	0,3808	-0,2550	189,12	0,3690	-0,2579	188,85	0,3543	-0,2535	186,30
2	0,6619	-0,2551	190,53	0,3691	-0,2348	174,29	0,3417	-0,2343	172,95	0,2963	-0,2147	159,99	0,2997	-0,2227	164,09
3	0,7217	-0,2890	207,18	0,4047	-0,2652	188,65	0,3662	-0,2588	183,62	0,3406	-0,2502	178,25	0,3351	-0,2495	179,19
4	0,5420	-0,2207	169,79	0,3196	-0,2051	155,70	0,2840	-0,1960	148,85	0,2695	-0,1943	147,11	0,2633	-0,1932	146,44
5	0,5511	-0,2169	169,99	0,3199	-0,2042	155,83	0,2960	-0,2020	154,22	0,2781	-0,1984	151,14	0,2665	-0,1947	148,59
6	0,7574	-0,2735	209,32	0,4031	-0,2531	189,46	0,3600	-0,2472	183,75	0,3643	-0,2587	189,93	0,3421	-0,2494	184,56
Průměr	0,6648	-0,2559	192,84	0,3725	-0,2371	176,16	0,3381	-0,2322	172,09	0,3196	-0,2290	169,21	0,3102	-0,2272	168,19
Smerod.odch	0,0979	0,0309	19,166	0,0440	0,0272	17,042	0,0395	0,0271	16,845	0,0440	0,0300	18,95	0,0395	0,0280	17,840
CV[%]	14,728	-12,073	9,9392	11,810	-11,464	9,6744	11,687	-11,683	9,7889	13,754	-13,118	11,202	12,740	-12,316	10,606
<b>Hystereze[%]</b>	61,504			36,348			31,314			28,353			26,763		

Naměřené hodnoty pro suchý vzorek tkaniny ve směru diagonála.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,0898	-0,0244	8,7517	0,0615	-0,0224	8,3355	0,0561	-0,0215	8,1074	0,0533	-0,0208	7,9731	0,0515	-0,0204	7,8926
2	0,1477	-0,0386	14,563	0,0935	-0,0359	13,812	0,0845	-0,0340	13,422	0,0812	-0,0337	13,463	0,0776	-0,0329	13,261
3	0,1181	-0,0302	10,469	0,0761	-0,0281	9,9194	0,0696	-0,0271	9,7315	0,0650	-0,0258	9,4899	0,0632	-0,0254	9,4899
4	0,1428	-0,0376	14,093	0,0948	-0,0349	13,449	0,0853	-0,0333	13,033	0,0811	-0,0321	12,885	0,0784	-0,0318	12,818
5	0,1285	-0,0326	11,449	0,0811	-0,0298	10,778	0,0752	-0,0295	10,751	0,0709	-0,0286	10,563	0,0678	-0,0276	10,362
6	0,1763	-0,0453	17,825	0,1104	-0,0420	16,872	0,0997	-0,0402	16,416	0,0918	-0,0380	15,664	0,0886	-0,0374	15,516
Průměr	0,1338	-0,0348	12,859	0,0862	-0,0322	12,194	0,0784	-0,0309	11,910	0,0739	-0,0298	11,673	0,0712	-0,0292	11,557
Smerod.odch	0,0293	0,0073	3,2760	0,0170	0,0069	3,1031	0,0150	0,0064	2,9800	0,0137	0,0061	2,8387	0,0131	0,0060	2,8038
CV[%]	21,886	-20,956	25,476	19,729	-21,285	25,446	19,116	-20,847	25,020	18,550	-20,404	24,318	18,408	-20,559	24,260
<b>Hystereze[%]</b>	74,019			62,673			60,557			59,602			58,920		

Naměřené hodnoty pro suchý vzorek tkaniny ve směru útku.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,2140	-0,1192	74,791	0,1570	-0,1114	68,724	0,1489	-0,1089	67,677	0,1417	-0,1052	66,013	0,1419	-0,1062	67,006
2	0,5829	-0,2626	166,84	0,3781	-0,2483	155,97	0,3485	-0,2428	152,75	0,3326	-0,2393	150,53	0,3163	-0,2318	147,11
3	0,5742	-0,2613	169,12	0,3823	-0,2498	159,32	0,3464	-0,2396	154,09	0,3322	-0,2391	152,81	0,3164	-0,2309	149,39
4	0,5535	-0,2445	162,21	0,3847	-0,2446	158,99	0,3410	-0,2336	151,61	0,3188	-0,2252	147,65	0,3131	-0,2271	147,91
5	0,5118	-0,2246	146,84	0,3296	-0,2115	136,84	0,3005	-0,2069	133,22	0,2837	-0,2015	130,60	0,2755	-0,1999	129,79
6	0,4692	-0,2016	136,03	0,3042	-0,1930	126,77	0,2910	-0,1950	128,18	0,2759	-0,1918	126,30	0,2659	-0,1894	124,76
Průměr	0,4843	-0,2190	142,64	0,3226	-0,2098	134,44	0,2961	-0,2045	131,25	0,2808	-0,2003	128,98	0,2715	-0,1976	127,66
Smerod.odch	0,1390	0,0541	35,595	0,0875	0,0534	34,839	0,0762	0,0506	33,025	0,0723	0,0505	32,729	0,0672	0,0481	31,474
CV[%]	28,708	-24,711	24,954	27,124	-25,457	25,914	25,724	-24,733	25,160	25,750	-25,225	25,374	24,759	-24,359	24,653
<b>Hystereze[%]</b>	54,782			34,988			30,942			28,662			27,241		

Naměřené hodnoty pro mokrý vzorek tkaniny ve směru osnovy.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,090	-0,029	22,416	0,058	-0,027	20,752	0,052	-0,025	20,080	0,049	-0,025	19,664	0,047	-0,024	19,383
2	0,121	-0,038	27,758	0,076	-0,034	25,705	0,067	-0,033	24,698	0,062	-0,031	23,946	0,060	-0,030	23,638
3	0,125	-0,040	28,738	0,079	-0,037	26,429	0,073	-0,035	26,134	0,068	-0,035	25,557	0,062	-0,032	24,255
4	0,129	-0,042	29,705	0,081	-0,037	26,980	0,073	-0,035	26,295	0,069	-0,036	25,866	0,065	-0,034	25,248
5	0,140	-0,045	31,973	0,090	-0,041	29,584	0,080	-0,039	28,604	0,074	-0,037	27,772	0,072	-0,037	27,544
6	0,145	-0,046	32,846	0,091	-0,042	30,174	0,080	-0,039	28,725	0,075	-0,037	28,215	0,071	-0,036	27,423
Průměr	0,125	-0,040	28,906	0,079	-0,036	26,604	0,071	-0,034	25,756	0,066	-0,033	25,170	0,063	-0,032	24,582
Smerod.odch	0,019	0,006	3,716	0,012	0,005	3,372	0,011	0,005	3,184	0,010	0,005	3,114	0,009	0,005	3,011
CV[%]	15,429	-15,214	12,854	15,135	-15,082	12,675	14,827	-14,734	12,362	14,880	-14,675	12,372	14,677	-14,474	12,247
<b>Hystereze[%]</b>	68,029			54,290			51,635			49,651			48,738		



Naměřené hodnoty pro mokrý vzorek tkaniny ve směru diagonála

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,157	-0,036	13,705	0,095	-0,032	12,872	0,086	-0,031	12,631	0,080	-0,029	12,389	0,075	-0,029	12,000
2	0,084	-0,017	6,846	0,051	-0,016	6,456	0,045	-0,015	6,215	0,042	-0,014	6,134	0,041	-0,014	6,121
3	0,104	-0,023	8,658	0,065	-0,021	8,161	0,059	-0,020	8,027	0,054	-0,019	7,758	0,053	-0,019	7,772
4	0,083	-0,018	6,805	0,052	-0,016	6,362	0,047	-0,015	6,201	0,044	-0,014	6,081	0,042	-0,014	6,040
5	0,083	-0,018	6,899	0,054	-0,016	6,510	0,048	-0,015	6,309	0,044	-0,014	6,148	0,043	-0,014	6,134
6	0,090	-0,021	7,691	0,059	-0,018	7,302	0,053	-0,017	7,087	0,050	-0,016	6,980	0,048	-0,016	6,886
Průměr	0,068	-0,015	5,705	0,046	-0,014	5,463	0,041	-0,013	5,262	0,038	-0,012	5,181	0,037	-0,012	5,181
Smerod.odch	0,029	0,007	2,680	0,017	0,006	2,511	0,015	0,006	2,497	0,014	0,006	2,446	0,013	0,006	2,306
CV[%]	42,601	-48,037	46,979	36,737	-46,104	45,959	37,796	-51,257	47,453	37,639	-47,645	47,206	34,615	-47,634	44,516
<b>Hystereze[%]</b>	77,761			69,690			68,986			67,655			67,522		

Naměřené hodnoty pro mokrý vzorek tkaniny ve směru útku.

Měření	Cyklus														
	1			2			3			4			5		
	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)	Max energie tahové protažení (J)	Min energie tahové protažení (J)	Max zatížení (N)
1	0,066	-0,021	13,275	0,042	-0,020	12,416	0,038	-0,018	11,987	0,035	-0,018	11,611	0,033	-0,017	11,248
2	0,077	-0,025	15,933	0,049	-0,023	14,617	0,046	-0,022	14,631	0,041	-0,020	13,772	0,040	-0,020	13,785
3	0,077	-0,025	15,557	0,050	-0,023	14,617	0,045	-0,022	14,067	0,041	-0,021	13,678	0,039	-0,020	13,436
4	0,066	-0,020	13,235	0,042	-0,018	12,322	0,037	-0,017	11,933	0,035	-0,017	11,799	0,034	-0,016	11,557
5	0,067	-0,021	13,597	0,043	-0,019	12,711	0,039	-0,018	12,362	0,035	-0,017	11,987	0,034	-0,017	11,785
6	0,067	-0,021	13,678	0,043	-0,019	12,698	0,038	-0,018	12,201	0,037	-0,018	12,215	0,035	-0,017	12,081
Průměr	0,070	-0,022	14,212	0,045	-0,020	13,230	0,040	-0,019	12,863	0,037	-0,018	12,510	0,036	-0,018	12,315
Smerod.odch	0,005	0,002	1,205	0,004	0,002	1,085	0,004	0,002	1,174	0,003	0,002	0,962	0,003	0,002	1,046
CV[%]	7,624	-9,548	8,482	8,235	-9,429	8,203	9,388	-10,422	9,130	7,977	-9,077	7,694	8,836	-9,534	8,490
Hystereze[%]	67,983			54,936			52,394			50,896			49,895		

Příloha č. 5

Hmotnosti klimatizovaného a usušeného vzorku tkaniny ve všech směrech, a vypočítaná vlhkost.

Vzorek	Hmotnost (g)									Vlhkost (%)		
	Klimatizovány			Suchý			Rozdíl					
	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála
1	2,058	2,018	1,988	2,008	1,967	1,956	0,05	0,051	0,032	2,49	2,59	1,64
2	2,039	2,073	1,990	1,983	2,017	1,934	0,056	0,056	0,056	2,82	2,78	2,90
3	2,063	2,039	2,012	2,008	1,981	1,960	0,055	0,058	0,052	2,74	2,93	2,65
4	2,048	2,020	2,059	1,992	1,962	2,003	0,056	0,058	0,056	2,81	2,96	2,80
5	2,063	2,013	2,025	2,001	1,953	1,969	0,062	0,06	0,056	3,10	3,07	2,84
6	2,028	2,010	2,066	1,968	1,949	2,100	0,06	0,061	0,044	3,05	3,13	2,13
Průměr	2,049	2,028	2,030	1,993	1,97	1,981	0,056	0,057	0,049	2,84	2,91	2,49

Hmotnosti klimatizovaného a mokrého vzorku tkaniny ve všech směrech, a vypočítaná vlhkost.

Vzorek	Hmotnost (g)									Vlhkost (%)		
	Klimatizovány			Mokrý			Rozdíl					
	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála	osnova	útěk	diagonála
1	2,015	1,98	1,98	4,9	4,958	4,94	2,885	2,978	2,96	143,18	150,40	149,49
2	2,006	1,985	1,89	4,422	4,711	4,956	2,416	2,726	3,066	120,44	137,33	162,22
3	2,035	2,074	1,986	4,707	4,983	4,995	2,672	2,909	3,009	131,30	140,26	151,51
4	2,02	2,027	1,973	4,814	5,006	4,996	2,794	2,979	3,023	138,32	146,97	153,22
5	2,029	2,013	2,033	4,597	4,974	5,41	2,568	2,961	3,377	126,56	147,09	166,11
6	2,038	1,962	1,981	4,762	4,808	4,898	2,724	2,846	2,917	133,66	145,06	147,25
Průměr	2,023	2,006	1,973	4,700	4,906	5,032	2,676	2,899	3,058	132,24	144,52	154,97